

Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Zařízení pro spojování protahovacích trnů

Device for Broaches Connection

Student:

Bc. Michal Lesák

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.

Ostrava 2014

## Zadání diplomové práce

Student:	<b>Bc. Michal Lesák</b>
Studijní program:	N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor:	3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace:	16 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení
Téma:	Zařízení pro spojování protahovacích trnů Device for Broaches Connection

### Zásady pro vypracování:

Navrhněte zařízení pro spojování trnů do hadic pomocí kovových trubiček. Jedná se o měkké pryžové, drátem vyztužené trny, na které se po nanesení separátoru extruduje hadice. Trn se následně z hadice vytlačí. Průměry trnů jsou 4 až 13 mm. Průměr drátu uprostřed je vždy 1 mm. Trny se spojují tak, že nejprve je třeba svléct cca 2 cm pryže z drátu a dva takto svlečené konce se zasunou do kovové trubičky délky 40 mm a průměru 4 mm, kterou je třeba rozlisovat silou 50 kN. V rámci práce vypracujte:

- 1) popis problému a postup spojování trnů,
- 2) rozbor možností realizace lisu s ohledem na požadovanou sílu,
- 3) návrh pneumatického obvodu včetně dimenzování prvků,
- 4) praktické ověření funkce navrženého obvodu,
- 5) dispoziční výkres zařízení.

### Seznam doporučené odborné literatury:

KOLEKTIV AUTORŮ. *SMC Training – Stlačený vzduch a jeho využití*. Brno: SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 2. vydání. 344 s.

BEATER, P. *Pneumatic drives: system design, modelling and control*. Berlin: Springer, 2007. 323 pp. ISBN 978-3-540-69470-0

KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy díl 1. – Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TUO, 1996. 267 s. ISBN 80-7078-306-0

Katalogy a podklady výrobců pneumatických prvků.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.**

Konzultant diplomové práce: Ing. Jaroslav Meduna

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



---

doc. Dr. Ing. Lumír Hružík  
vedoucí katedry


---

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny podklady a literaturu.

V Ostravě 19.5.2014 .....

  
.....  
podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomové práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které bylo VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženo (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. O vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě:.....19.5.2014.....

Bc. Michal Lesák  
Polešovice 176  
Polešovice 687 37

  
.....  
podpis

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

**Lesák, M.** *Zařízení pro spojování protahovacích trnů: diplomová práce.* Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2014, 64 s. Vedoucí práce: Ing. L. Dvořák, Ph.D.

Tato diplomová práce se zabývá návrhem pneumatických obvodů k zařízení pro spojování protahovacích trnů. V úvodní části diplomové práce je popsáno využití pneumatických mechanismů v průmyslu. Teoretická část popisuje výrobu hydraulických hadic. Dále se nachází v diplomové práci úvaha, jak navrhnout pneumatické zařízení, které vyvodí lisovací sílu 50 kN. V praktické části obsahuje návrh pneumatických obvodů a potřebné výpočty k správné volbě a specifikaci prvků do pneumatických obvodů. Navržené pneumatické obvody byly odzkoušeny na praktikátorech. K diplomové práci jsou přiložena schémata pneumatických obvodů a dispoziční výkres zařízení.

## ANOTATION OF THESIS

**Lesák, M.** *Device for Broaches Connection.* Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydrodynamice and Hydraulic Equipment,, 2014, 64 p. Thesis head: Ing. L. Dvořák, Ph.D.

This thesis deals with suggestion of pneumatic circuits a device for connecting broaches. In the introductory part of the thesis is described of use pneumatic mechanisms in industry. Teoretical part describes the production of hydraulic hoses. In this thesis is reasoning how to design a pneumatic equipment, which pressing force 50 kN. The practical part contains suggestion of pneumatic equipment and necessary calculations for the right choice and specifications elements for pneumatic circuits. Designed pneumatic circuits were tested on practicators. In this thesis are assigned the schemes of pneumatic circuits and dispositional drawing of equipment.

## Obsah

Seznam použitých značek a symbolů .....	- 9 -
Úvod .....	- 11 -
1. Teoretický úvod.....	- 12 -
1.1 Pneumatické mechanismy .....	- 12 -
1.2 Rozvoj pneumatických mechanismů .....	- 12 -
1.3 Výhody a nevýhody pneumatických mechanismů .....	- 13 -
1.4 Správný výběr pneumatických válců .....	- 15 -
1.5 Výroba hydraulických hadic .....	- 17 -
1.5.1 Trn .....	- 17 -
1.5.2 Výroba duší .....	- 18 -
1.5.3 Oplet .....	- 18 -
1.5.4 Obal .....	- 19 -
1.5.5 Vulkanizace .....	- 20 -
2. Popis pneumatického zařízení pro spojování trnů.....	- 22 -
2.1 Popis funkce .....	- 22 -
2.2 Popis pracovního cyklu (odstranění trnu z ocelového drátu) .....	- 22 -
3. Rozbor realizace lisu s ohledem na požadovanou sílu .....	- 24 -
3.1 Realizace pneumatickým přímočarým motorem .....	- 24 -
3.2 Realizace pomocí multiplikátoru tlaku .....	- 25 -
3.3 Realizace pneumohydraulickým přímočarým motorem.....	- 26 -
3.4 Realizace mechanickým převodem (páka) .....	- 27 -
4. Návrh pneumatických obvodů .....	- 30 -
4.1 Pneumatický obvod na odstranění trnu z drátu .....	- 30 -
4.1.1 Znázornění průběhů pohybů pneumomotorů .....	- 30 -
4.1.2 Schéma pneumatického obvodu na odstranění trnu z ocelového drátu .....	- 32 -

4.1.3	Označení použitých prvků.....	- 32 -
4.1.4	Funkce pneumatického obvodu na odstranění trnu z ocelového drátu .....	- 32 -
4.1.5	Realizace obvodu .....	- 33 -
4.1.6	Signální šroubení.....	- 34 -
4.2	Pneumatický obvod na lisování trubičky k ocelovému drátu.....	- 35 -
4.2.1	Schéma pneumatického obvodu na lisování trubičky k ocelovému drátu ....	- 35 -
4.2.2	Označení použitých prvků.....	- 36 -
4.2.3	Funkce pneumatického obvodu na lisování trubičky k ocelovému drátu ....	- 36 -
4.2.4	Realizace obvodu .....	- 37 -
5.	Předběžná volba prvků a kontrolní výpočet.....	- 38 -
5.1	Výpočet parametrů přímočarého pneumomotoru.....	- 38 -
5.1.1	Návrh pneumomotoru .....	- 38 -
5.1.2	Kontrola pístnice na vzpěr.....	- 39 -
5.1.3	Spotřeba vzduchu na jeden pracovní cyklus .....	- 40 -
5.1.4	Dynamika pohonu .....	- 41 -
5.2	Výpočet průtokové propustnosti pneumatických obvodů .....	- 42 -
5.2.1	Výpočet průtokové propustnosti pneumomotorů 1A a 2A .....	- 43 -
5.2.2	Výpočet průtokové propustnosti pneumomotoru 3A .....	- 45 -
5.2.3	Výpočet průtokové propustnosti pneumohydraulického válce .....	- 47 -
6.	Specifikace prvků.....	- 50 -
6.1	Specifikace společných prvků v pneumatických obvodech .....	- 50 -
6.2	Specifikace prvků pro pneumatický obvod na odstranění trnu z drátu .....	- 52 -
6.3	Specifikace prvků pro pneumatický obvod na lisování.....	- 57 -
	Závěr.....	- 62 -
	Seznam použité literatury.....	- 63 -
	Seznam příloh.....	- 64 -



## Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Význam	Jednotka
$a$	Zrychlení válce	$[\text{m.s}^{-2}]$
$d$	Průměr pístnice	$[\text{m}]$
$d_H$	Vnitřní průměr hadice	$[\text{m}]$
$d_t$	Průměr přívodního potrubí	$[\text{m}]$
$D$	Průměr válce	$[\text{m}]$
$D_H$	Vnější průměr hadice	$[\text{m}]$
$E$	Modul pružnosti oceli	$[\text{Pa}]$
$F_L$	Lisovací síla	$[\text{Pa}]$
$F_P$	Síla pneumomotoru	$[\text{Pa}]$
$F_{kr}$	Kritická síla	$[\text{Pa}]$
$F_{sk}$	Skutečná síla pneumomotoru	$[\text{Pa}]$
$F_{krDOV}$	Přípustná kritická hodnota	$[\text{Pa}]$
$F_{skmax}$	Maximální síla působící v koncové poloze	$[\text{Pa}]$
$H$	Zdvih pneumomotoru	$[\text{m}]$
$J$	Moment setrvačnosti průřezu pístnice	$[\text{m}^4]$
$l$	Délka ramene páky	$[\text{m}]$
$l_{red}$	Redukovaná délka pístnice	$[\text{m}]$
$L$	Délka ramene páky	$[\text{m}]$
$p_1$	Pracovní tlak	$[\text{Pa}]$
$p_2$	Tlak pro výfuk do rozváděče	$[\text{Pa}]$
$p_{labs}$	Absolutní tlak	$[\text{Pa}]$
$p_p$	Přetlak	$[\text{Pa}]$
$Q_1$	Průtok vzduchu motorem při vysouvání	$[\text{m}^3/\text{s}]$
$Q_2$	Průtok vzduchu motorem při zasouvání	$[\text{m}^3/\text{s}]$
$Q_{1N}$	Průtok vzduchu motorem normální podmínky	$[\text{m}^3/\text{s}]$
$Q_{Ne}$	Ekvivalentní průtok	$[\text{m}^3/\text{s}]$
$Q_{STR}$	Střední spotřeba vzduchu	$[\text{m}^3/\text{s}]$

R	Doporučený poloměr ohybu hadice	[m]
$S_1$	Plocha pístu pneumatického válce	[m <sup>2</sup> ]
$S_2$	Plocha mezikruží pneumatického válce	[m <sup>2</sup> ]
$t_1$	Doba vysouvání pístnice	[s]
$t_2$	Doba zasouvání pístnice	[s]
$t_b$	Doba brždění	[s]
$t_C$	Celková doba jednoho cyklu	[s]
$t_r$	Doba rozběhu	[s]
$t_u$	Ustálený čas	[s]
$v$	Rychlost pneumomotoru	[m.s <sup>-1</sup> ]
$v_t$	Rychlost vzduchu v přívodním potrubí	[m.s <sup>-1</sup> ]
$v_u$	Ustálená rychlost pneumomotoru	[m.s <sup>-1</sup> ]
V1	Potřebný objem vzduchu při vysouvání	[m <sup>3</sup> ]
V2	Potřebný objem vzduchu při zasouvání	[m <sup>3</sup> ]
VC	Celkový objem vzduchu na jeden cyklus	[m <sup>3</sup> ]
VCN	Celkový objem vzduchu na jeden cyklus přepočten na normální podmínky	[m <sup>3</sup> ]
$\nu$	Součinitel bezpečnosti při vzpěru	[1]

## Úvod

Hydraulické hadice jsou nedílnou součástí hydraulických obvodů. Pomocí hadic se přepravuje hydraulická kapalina ke spotřebiči. Hydraulické hadice jsou vyrobeny především z pryže, která je opletena většinou ocelovým opletem. S kvalitou výroby hydraulických hadic úzce souvisí funkčnost zařízení a také zdraví osob. Z tohoto vyplývá, že je na kvalitu výroby hydraulických hadic kladen velký důraz.

V teoretické části diplomové práce je popisováno využití pneumatických mechanismů v praxi. Dále je zde nastíněna problematika výroby hydraulických hadic. Následující kapitola zobrazuje úvahu, jak zajistit lisování pomocí pneumatického zdroje tlaku, když potřebná lisovací síla je 50 kN.

V praktické části jsou navrženy dva pneumatické obvody, a to pneumatický obvod na odstranění trnu z ocelového drátu a pneumatického obvodu na lisování ocelové trubičky k ocelovému drátu. První pneumatický obvod na odstranění trnu z ocelového drátu je ovládán pomocí pneumatických signálů, to znamená, že se jedná o obvod čistě pneumatický bez použití elektrické energie. Tento obvod obsahuje tři pneumomotory. U druhého pneumatického obvodu na lisování trubičky k ocelovému drátu jsem zvolil řešení pomocí pneumohydraulického válce. Oba tyto pneumatické obvody byly sestaveny v univerzitní učebně na praktikátorech firem FESTO a SMC. Díky tomuto sestavení jsem ověřil funkčnost navržených pneumatických mechanismů. Po kontrole funkčnosti jsem provedl potřebné výpočty k návrhu prvků potřebných k realizaci pneumatických obvodů.

Dalším bodem praktické části diplomové práce je návrh dispozičního výkresu na zařízení pro spojování protahovacích trnů.

# **1. Teoretický úvod**

## **1.1 Pneumatické mechanismy**

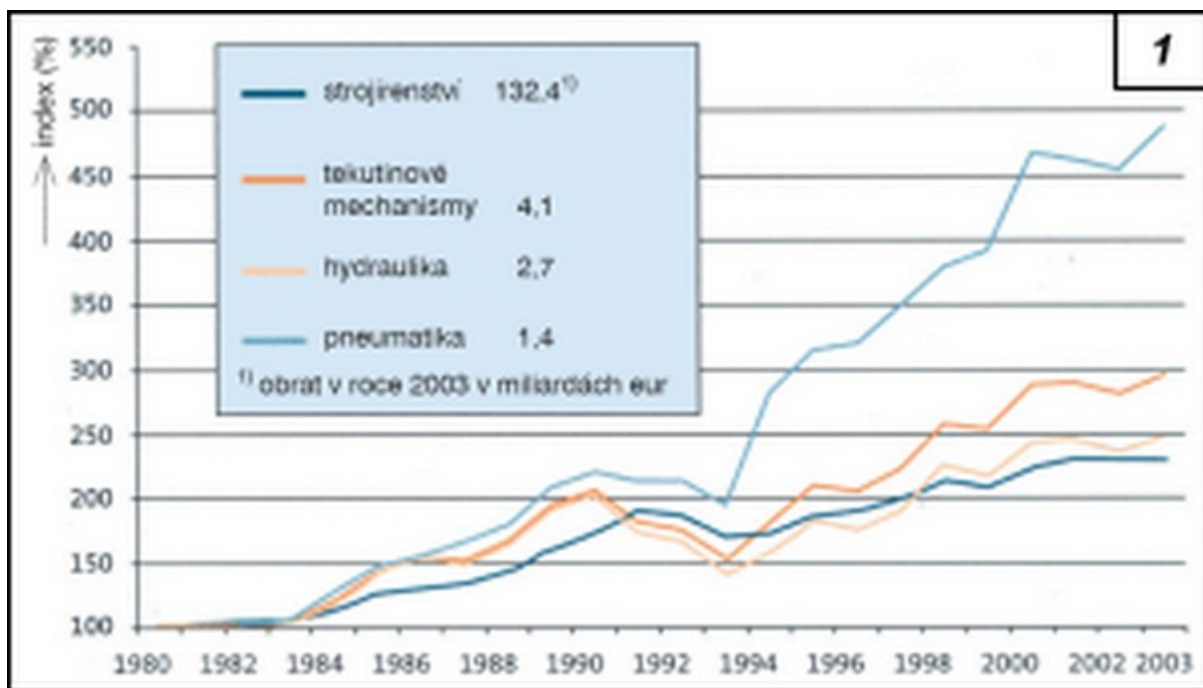
Pneumatické mechanismy jsou vedle mechanismů hydraulických, elektrických a tuhých významným prostředkem, uplatňujícím se při konstrukci nejrůznějších strojů a výrobních zařízení. Ve srovnání s jinými mechanismy mají řadu výhod, platí, že i přes rostoucí trend modernizace hydraulických mechanismů a výrazný podíl jejich elektronizace má jejich výroba a aplikace stále vzestupnou tendenci.

Aplikační oblasti pneumatických mechanismů jsou velmi rozmanité. Lze je jen těžko vyjmenovat kvůli některým omezením ve velikosti přenášejících sil a výkonů. Využívají se ve všech odvětvích strojírenství při konstrukci výrobních strojů, v oblasti manipulačních a dopravních zařízení, u robotů, balicích a montážních zařízení, strojů pro báňský a metalurgický průmysl, strojů pro stavebnictví apod. [1]

## **1.2 Rozvoj pneumatických mechanismů**

Pneumatické mechanismy v porovnání s hydraulickými mechanismy mají poněkud kratší historii a jejich významnější rozvoj lze zachytit až v 60. letech, kdy byl velký zájem o automatizaci ve výrobních činnostech. Konstrukce automatizačních prostředků a realizace pomocných ovládacích funkcí jsou dosud hlavním prostorem v aplikaci pneumatických prvků.

V zemích s nákladnou pracovní silou se objevila velká poptávka po automatizaci. To zapříčinilo velký rozvoj v průmyslu zabývajícím se tekutinovými mechanismy, především pneumatikou. Nepřetržitý růst v počtu prodaných pneumatických jednotek je dokladem, že pneumatika jako obor plní velmi dobře požadavky na automatizační techniku. Před 30 lety byl obrat na trhu s pneumatikou jen něco kolem 20% obratu v oboru hydrauliky, nyní je to již asi 50%. Jelikož se jedná poměrně o nový obor, roste rychleji než jiné. Například v Německu v období od roku 1980 do roku 2003 narostl obrat na 487% původního stavu, což je více jak dvojnásobek oproti růstu německého strojírenství (obr. 1.1). [14]



Obr. 1.1 Index růstu německého strojírenství jako celku [14]

### 1.3 Výhody a nevýhody pneumatických mechanismů

Pneumatické mechanismy se čím dál více rozšiřují při konstrukci strojů a zařízení, a to i v porovnání s hydraulickými a elektrickými mechanismy, které zaznamenávají vysoký stupeň modernizace. Pneumatické mechanismy mají řadu výhod před použitím hydraulických, elektronických a tuhých mechanismů. [1]

#### *Výhody pneumatických mechanismů:*

- Výroba stlačeného vzduchu. V průmyslových závodech je řešen zdroj stlačeného vzduchu pomocí centrálních kompresorových stanic. Využití mobilních kompresorových stanic na stlačený vzduch lze i tam, kde není přístupná elektrická energie.
- Rozvod stlačeného vzduchu se děje jediným vodičem (trubky, hadice) s jednoduchým a nenáročným připojováním. Po předání energie v mechanismu je vzduch vyfukován do ovzduší, což může vylepšovat větrání a ochlazování pracovního prostorů.

- Provoz pneumatického mechanismu umožňuje čistotu pracovního prostředí. Je využíván především v potravinářském, farmaceutickém a oděvním průmyslu.
- Pneumatický mechanismus není závislý na teplotě okolí, takže může pracovat při nízkých i vysokých teplotách, a to nemá vliv na jeho funkci.
- Významnou vlastností pneumatických mechanismů je možnost přetížitelnosti až k úplnému zastavení, a to s vyloučením možnosti poškození jeho mechanických částí a bez energetických ztrát.
- Dosahování velkých rychlostí při výkonu operací, např. u přímočarého pohybu až 8krát rychleji a u rotačního pohybu až s 20krát většími otáčkami než u hydraulických či elektrických mechanismů.
- Snadná rychlostní, otáčková, silová a výkonová regulace.
- Pneumatické mechanismy je možné komplexně automatizovat.
- Pneumatické mechanismy zaručují bezpečný provoz i ve výbušném a zápalném prostředí (např.: hlubinné doly, chemický průmysl, nábytkářský průmysl apod.), kde elektrická zařízení vyžadují speciální provedení.
- Jelikož pneumatické mechanismy pracují s vnitřním přetlakem, zabraňuje se tím vnikání nečistot z okolí (prašné prostředí) do prvků a tím jejich opotřebení.
- Snadná montáž a údržba, která neklade zvláštní nároky na kvalifikaci personálu.

#### ***Nevýhody pneumatických mechanismů:***

- Stlačený vzduch je nutno nejprve upravit před vstupem do pneumatického mechanismu a zbavit ho mechanických nečistot a vlhkosti. V některých případech jsme nuceni stlačený vzduch přimazávat olejovou mlhou k zajištění mazání pneumatických prvků.

- V porovnání s hydraulickými a elektrickými mechanismy jsou pneumatické mechanismy nejméně ekonomické z důvodu velkých ztrát v rozvodech (potrubí) a nedokonalým využitím v pracovním prvku.
- Pneumatické mechanismy jsou málo tuhé. Z této vlastnosti vyplývá, že v pneumatickém mechanismu bude velmi obtížné regulovat rychlost a s tím souslednost pohybu.
- Značná hlučnost od expandovaného vzduchu na výstupu z pneumatického prvku. Především při velkých průtocích.
- Nízký pracovní tlak maximálně 1MPa. Nelze získat příliš velké síly nebo krouticí moment.

## 1.4 Správný výběr pneumatických válců

Pro správnou funkci pneumatického mechanismu je zapotřebí vhodně navrhnout pneumatické válce. Při návrhu pneumatického válce je zapotřebí zohlednit tyto faktory:[15]

### *Dimenzování*

Před výběrem vhodného pneumatického válce je zapotřebí znát: pracovní tlak, který je zaručen v obvodu, požadovanou sílu s ohledem na třecí síly a v neposlední řadě také požadavky na dynamiku zařízení (rychlost, čas na zdvih atd.) a případně další vnější aspekty, které by mohly mít vliv na chod válce. Musí se provést správný výpočet všech zatížení včetně třecích ztrát, dynamického či externího zatížení. Následně můžeme vytipovat vhodný pneumatický válec.

Předimenzování pneumatického válce může vést k neekonomickému hospodaření se stlačeným vzduchem (pro větší pneumatické válce je zapotřebí větší množství vzduchu). V případě, kdy dojde k poddimenzování pneumatického válce, je zapotřebí k dosažení potřebné síly zvýšit pracovní tlak. [15]

### ***Rozlišování instalace do horizontální a vertikální polohy***

V případě, že pneumatický válec je umístěn ve vertikální poloze, je nezbytné zohlednit další požadavky na sílu, zatížení a stlačený vzduch. Když válec vysouváme směrem nahoru, musí válec jako první před zrychlením překonat zemskou přitažlivost (gravitaci), následně musí vyvinout větší sílu než válec umístěný v horizontální poloze. Při opačné instalaci, tedy kdy válec vykonává pohyb směrem dolů, je zapotřebí zohlednit zemskou přitažlivost, která napomáhá zrychlení. Z toho vyplývá, že je nutné kontrolovat zrychlení, a to pomocí škrtkových ventilů. [15]

### ***Zohlednění okolního prostředí***

Před návrhem pneumatického válce je nutné zjistit, v jakém prostředí bude pracovat. Jaká je teplota okolí, jestli je v prostředí zvýšená vlhkost vzduchu, prašnost nebo jestli na válec budou působit chemické látky. Po zjištění těchto faktů lze navrhnout pneumatický válec vyrobený z vhodných materiálu, s vhodným těsněním, stíracími kroužky a manžetami. Pro některé typy prostředí je zapotřebí navrhovat válce s požadovanou certifikací, např. v potravinářském průmyslu. Pokud se tyto podmínky nezohlední při výběru válce, hrozí, že nebude správně fungovat, může dojít ke zkrácení jeho životnosti nebo může mít nežádoucí vliv na chod zařízení. [15]

### ***Zvolení správného konstrukčního návrhu***

V případě, že na pneumatický válec, především na jeho pístnici se působí radiální silou, je zapotřebí jej doplnit o vnější vedení, které nám tuto boční sílu zachytí. Pokud pneumatický válec neopatříme o toto vedení, dojde k jeho předčasnému opotřebení a netěsnostem vedoucím k poruchám. [15]

### ***Použití tlumících prvků***

Většina poruch pneumatických válců je způsobena intenzivními nárazy na koncích zdvihu válce. Je tedy vhodné eliminovat tyto nárazy, a to pomocí použití tlumících podložek, polštářů nebo tlumičů. Díky těmto prvkům lze výrazně prodloužit životnost celého mechanismu. [15]



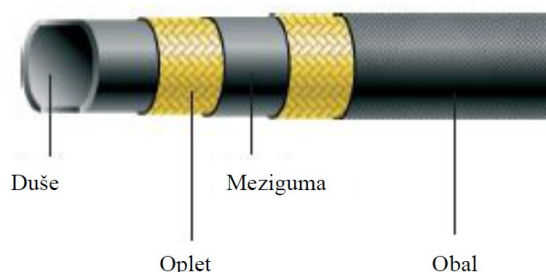
## ***Správné seřízení regulace průtoku***

Abychom prodloužili životnost pneumatického válce, je nezbytné správně seřídit chod mechanismu. Ten musí být tak pomalý, jak je jen možné, ale musí být dodržen časový rámec pro daný účel. Pomalejší pohyb znamená slabší náraz na konci zdvihu a z toho vyplývá delší životnost pneumatického válce. [15]

## **1.5 Výroba hydraulických hadic**

Cílem práce je návrh jednoúčelového stroje který slouží ke spojování trnů, které se používají při výrobě hydraulických hadic, v této části bude tedy nejprve pro názornost představen postup výroby hadic.

Hydraulické hadice se vyrábějí tzv. trnovou technologií. Trny se vyrábějí z polypropylenu nebo polyamidu a slouží jako základ, na kterém se následně budují hadice. Trny se používají proto, aby nedocházelo k zborcení vlivem vysokých tlaků, které působí při oplétání a díky dobré tepelné roztažnosti umožňují vulkanizace. Na trn je vytlačována duše - gumová vrstva, která přichází do styku s kapalinou. Další vrstvy jsou vždy odděleny mezigumou. Hadici tvoří duše, oplet, který je hlavním elementem odolávajícím působení tlaku a je chráněn poslední vrstvou gumovým obalem. Všechny tyto vrstvy jsou znázorněny na obr. 1.2 [4]



*Obr. 1.2 Jednotlivé vrstvy hydraulické hadice [3]*

### **1.5.1 Trn**

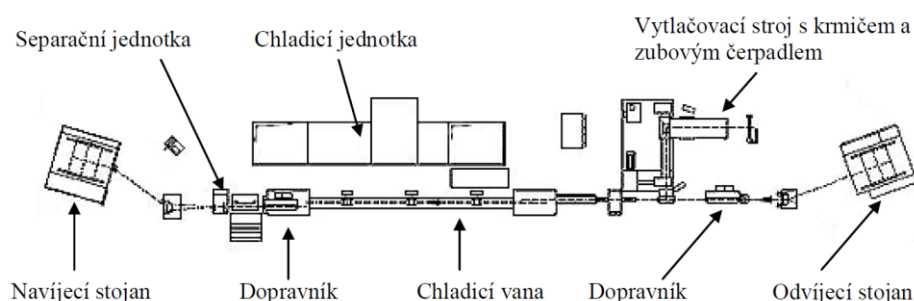
Trny jsou vyráběny z různých materiálů. Pro spirálové hadice se používají trny vyrobené z oceli, ale pro lepší navíjení opletaných hadic na přepravní bubny se používají elastické plastické trny, které jsou vyrobeny z polypropylenu (PP) nebo polyamidové hmoty (PA), které mají středem vedený ocelový drát. Polyamid ve srovnání s polypropylenem je dražší, z tohoto důvodu se používá pouze na výrobu hadic větších průměrů (od průměru 25mm), kde z důvodu nižší pružnosti použití PP není možné. Trny lze použít opakovaně, jejich životnost je několik výrobních cyklů. Před každým dalším

použití jsou trny kontrolovány. Kontroluje se jejich mechanické poškození a průměr. Pokud průměr neodpovídá předepsaným hodnotám, jsou nevyhovující úseky vyřazeny a zbylé části svařeny. Nevyhovující trny se z ekonomických a ekologických důvodů drtí a následně se vzniklá drť v jistém poměru přimíchává do směsi na nové trny.

Trny jsou základním elementem při výrobě hadic, proto se při výrobě vyžaduje velmi vysoká přesnost, především se klade důraz na průměr a kruhovitost.[4]

### 1.5.2 Výroba duší

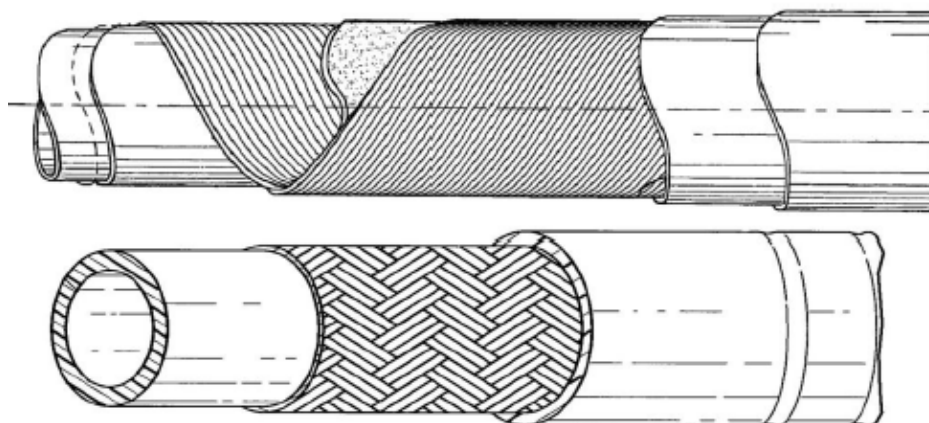
Duše je tvořena gumovou vrstvou. Tato vrstva přichází do přímého styku s pracovní kapalinou, z tohoto důvodu se používá na výrobu duší speciální směs, oleji-vzdorná pryž. Směs je podávána do zásobníku, odkud je vytlačovaná pomocí zubového čerpadla na povrch trnu do profilu požadované tloušťky viz (obr. 1.3). Důležitým parametrem je teplota vytlačování. Teplota se liší podle druhu vytlačované směsi. Pokud by došlo k přehřátí směsi díky vysoké teplotě, mohlo by dojít k napálení směsi, tedy k nežádoucí částečné vulkanizaci. Bezprostředně po vytlačení duše dochází k chlazení ve vodní lázni. Dalším krokem je separace, která zamezí slepení jednotlivých vrstev hadic na bubnu. [4]



Obr. 1.3 Linka na vytlačování duší [4]

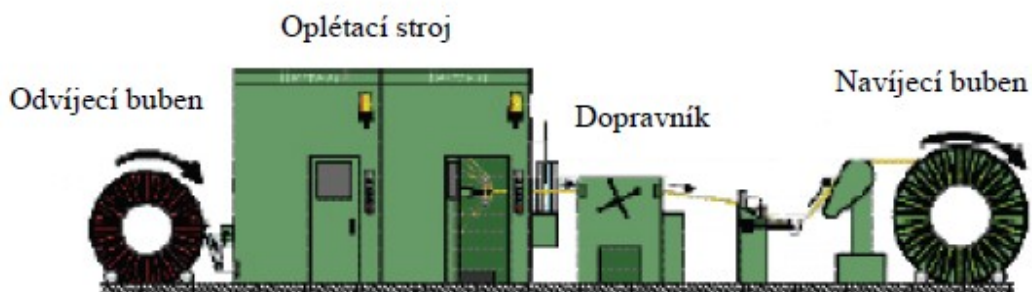
### 1.5.3 Oplet

Aby hadice vydržely, jsou vyztuženy zpevňovacím materiálem, který odolává vysokým tlakům. Podle velikosti působícího tlaku se používají různé materiály. Přírodní vlákno a vlasec se používají pro nízké tlaky. Na hydraulické hadice se používají ocelové dráty. Zpevňovací materiál může být aplikován na hadici ovinutím nebo opletem. Při opletu dochází ke křížení vláken. Ovin se aplikuje bez křížení a je pouze v jedné vrstvě (viz obr. 1.4). [4]



*Obr. 1.4 Ovin a oplet na hadici [4]*

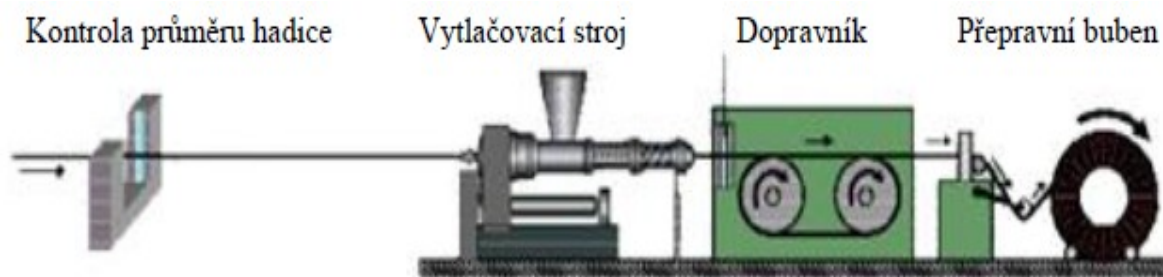
Výroba opletu se provádí na lince oplétání (obr. 1.5). Odvíjením opletu z přepravního bubnu je duše s trnem ochlazovaná dusíkem, aby se zpevnila a zamezilo se jejímu přerézání drátem nebo nedošlo k hrnutí. Odvíjení duše a pohyb skrz oplétací stroj zajišťuje dopravník. Před navíjením na přepravní buben je hadice kontrolována, kontroluje se její průměr. [4]



*Obr. 1.5 Linka oplétání [4]*

#### **1.5.4 Obal**

Obal je gumová vrstva, která překrývá oplet a slouží jako ochranná vrstva. Hadice jsou vystavovány zvýšené mechanické zátěži, také na ně působí ozón a jiné plyny. Obal hadice je vyroben z jiné směsi než duše, jelikož má na obalu jinou funkci. Obal se vytlačuje na lince vytlačování obalů (obr. 1. 6), tento proces je podobný vytlačování duše. [4]

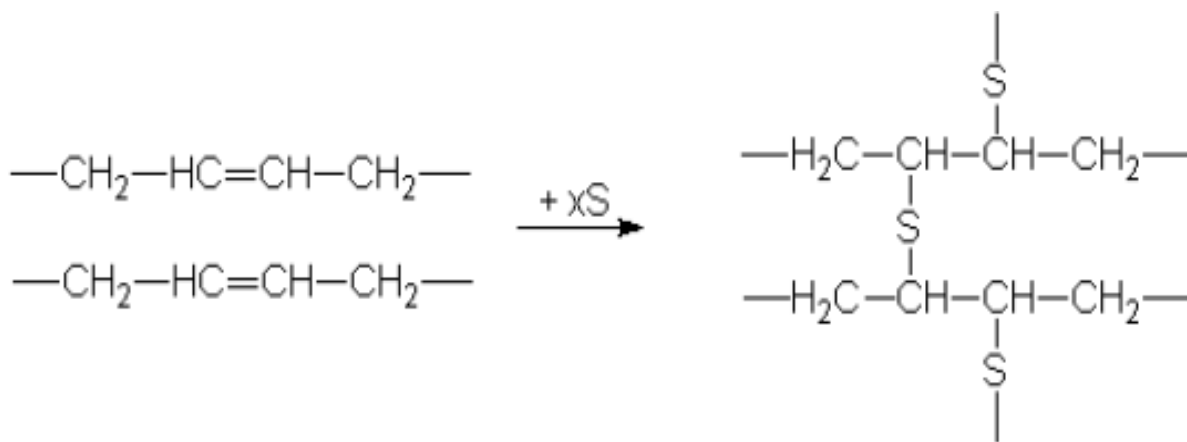


Obr. 1.6 Linka vytlačování obalu [4]

### 1.5.5 Vulkanizace

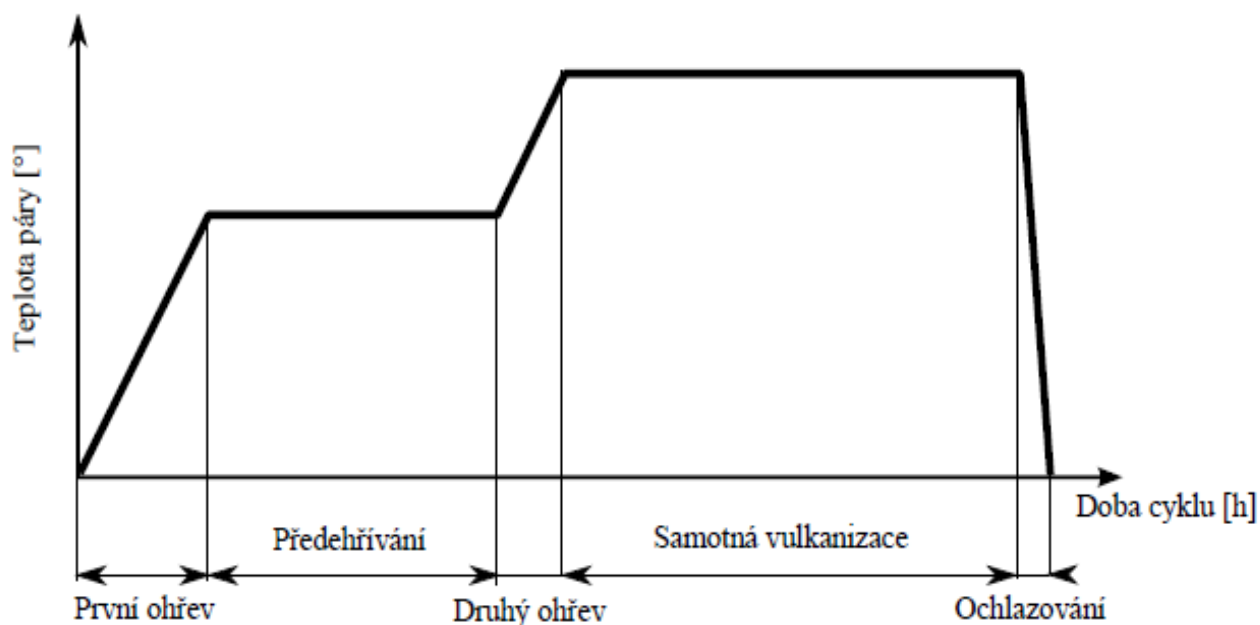
Duše i obal jsou vyrobeny z pryže, tato pryž je směsí přírodního a syntetického kaučuku, plniv, vulkanizačních činidel, urychlovačů vulkanizace, retardérů, pigmentů, změkčovadel a dalších přísad.[5]

Vulkanizace je fyzikálně-chemický proces, při kterém vlivem teploty, tlaku a vulkanizačních činidel dochází ke strukturálním změnám kaučukové směsi (Obr. 1.6). Tato změna se nazývá zesíťování. Kaučuk se vulkanizuje záměrně, aby došlo ke změně jeho mechanických, chemických a fyzikálních vlastností. Navýší se jeho pevnost v tahu, odolnost vůči oděru, ale zároveň se sníží jeho tažnost. [6]



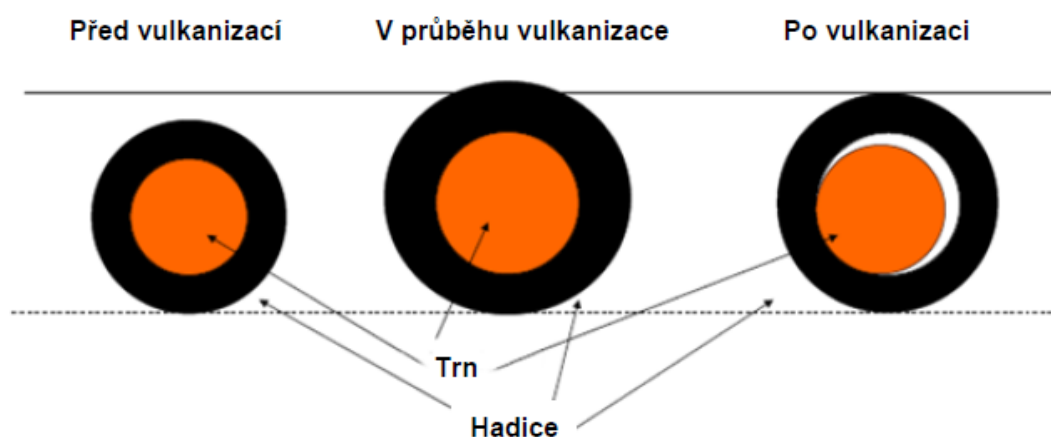
Obr. 1.7 Zesíťování kaučuku [6]

Vulkanizace se provádí v kotli, kde se k ohřívání hadic používá nasycená vodní pára. Důvodem je vysoký koeficient přestupu tepla, nemá vliv na kaučuk a díky změně tlaku lze jednoduše regulovat teplotu. Vulkanizace hydraulických hadic probíhá v pěti cyklech. Prvním cyklem je ohřev, předehřívání, druhým je ohřev, samotná vulkanizace a ochlazování (Obr. 1.7).



Obr. 1.8 Průběh vulkanizace [4]

V důsledku vysokých teplot dochází k rozšíření trnu (Obr. 1.8), z toho vyplývá, že průměr trnu bude větší a má za příčinu pretlačení duše přes oplétací drát. Po ukončení procesu vulkanizace dojde k ochlazení hadice a tím pádem se velikost průměru trnu vrátí na původní hodnotu, ale z vulkanizovaná duše již rozměr nezmění. Díky této operaci vznikne mezera mezi hadicí a trnem a umožní následné vytlačení trnu z hadice. [4]



Obr. 1.9 Vliv tepelné roztažnosti trnu během procesu vulkanizace [4]

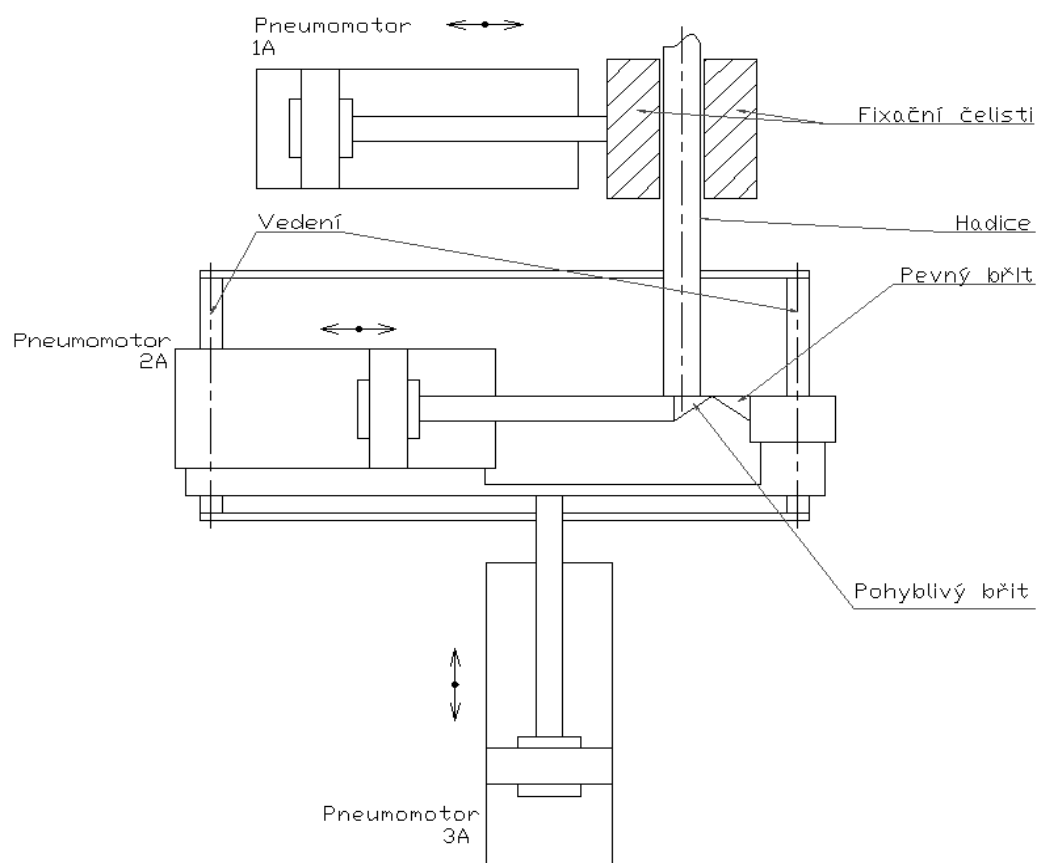
## **2. Popis pneumatického zařízení pro spojování trnů**

### **2.1 Popis funkce**

Jedná se o zařízení, které slouží ke spojování hadic pomocí kovových trubiček. Zařízení je umístěno v lince nanášením separace. Postup je následující. Nejprve je zapotřebí odstranit cca 2cm pryžové duše a trnu z ocelového drátu, který má průměr cca 1mm. Po odstranění trnu z ocelového drátu zasuneme konce do kovové trubičky. Trubičku umístíme do lisovacího přípravku a pomocí obouručního ovládání trubičku rozlisujeme. K rozlisování trubičky je zapotřebí vyvinout sílu cca 50 kN. Poté vyjmeme spojené hadice z lisovacího přípravku a pokračujeme nanášením separace.

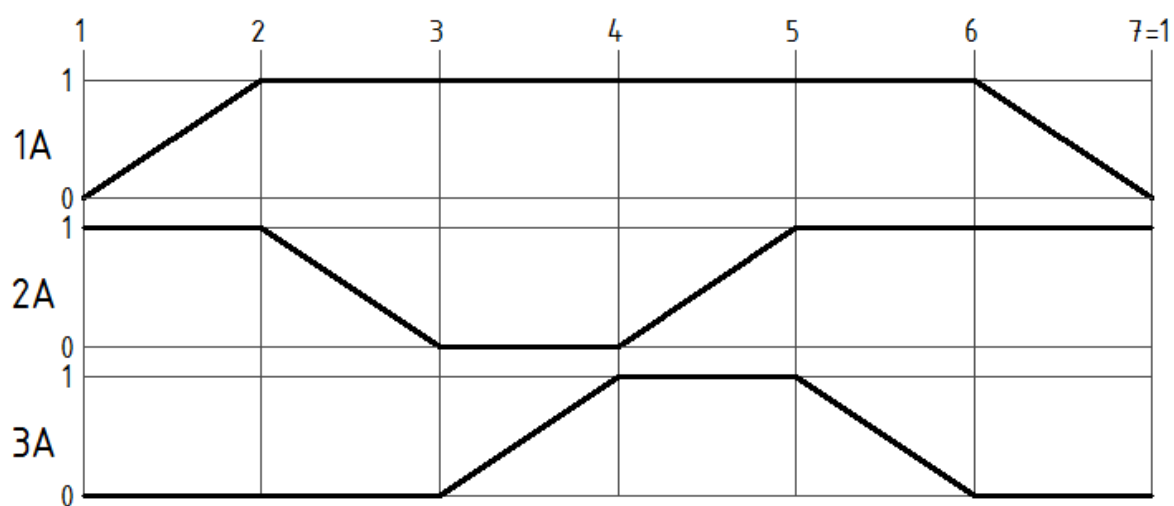
### **2.2 Popis pracovního cyklu (odstranění trnu z ocelového drátu)**

Nejprve zasuneme konec hadice do otvoru, který je umístěn na horní ploše zařízení. Hadici zasuneme na doraz, tento doraz je tvořen břity pneumomotoru 2A. Následně stiskneme tlačítko START, a tím se spustí plně automatický chod pneumatického zařízení. Pneumomotor 1A se vysune, sevře hadici a tím ji zafixuje. Následně se zasune pneumomotor 2A, který byl využit jako doraz. Poté se vysune pneumomotor 3A, který nazvedne pneumomotor 2A o cca 2 cm, tato délka je potřebná k odstranění trnu z drátu. Po vysunutí pneumomotoru 3A dojde k opětovnému vysunutí pneumomotoru 2A a tím k přestřížení trnu. Dalším krokem je zasunutí pneumomotoru 3A. Tím dojde k odstranění trnu z ocelového drátu. Jako poslední krok je zasunutí pneumomotoru 1A a to vede k uvolnění hadice. Následně se hadice vyjme.



Obr. 2. 1 Schéma zařízení k odstranění trnu z ocelového drátu

Znázornění průběhu pohybů pneumomotorů k odstranění trnu z ocelového drátu je na obr. 2.2.



Obr. 2.2 Průběh pohybů pneumomotorů

### 3. Rozbor realizace lisu s ohledem na požadovanou sílu

#### Popis operace

V této operaci dochází k lisování konců hadic k sobě pomocí trubičky. Nejprve zasuneme oba konce drátů do trubičky. Následně umístíme trubičku do lisovacího přípravku. Poté stiskneme obouručně tlačítka START. Následně dojde k zalisování obou konců hadic.

#### Možnosti realizace lisování:

- Realizace pneumatickým přímočarým motorem
- Realizace pomocí multiplikátorem tlaku (zvýšení tlaku, menší požadavky na velikost pneumatického válce)
- Realizace pneumohydraulickým přímočarým motorem
- Realizace mechanickým převodem

#### 3.1 Realizace pneumatickým přímočarým motorem

Jeden ze způsobů realizace lisování je pomocí pneumatického válce. Pro jeho vytipování je zapotřebí provést výpočet průměru pístu  $D$ . Tento výpočet lze provést ze zadaných hodnot, a to síly 50 kN a tlaku 0,6 MPa.

##### *Výpočet plochy pístu*

$$F = p \cdot S$$
$$S = \frac{F}{p} = \frac{50 \cdot 10^3}{0,6 \cdot 10^6} = 0,083 \text{ m}^2$$

##### *Výpočet průměru pístu*

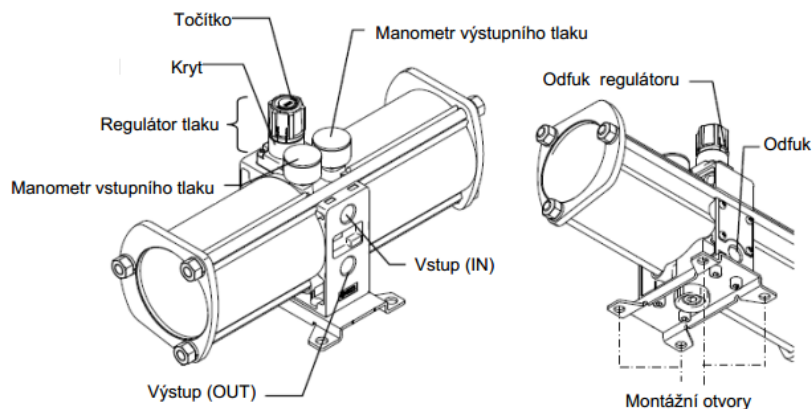
$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$
$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,083}{\pi}} = 0,3251 \text{ m} \cong 330 \text{ mm}$$

Potřebný průměr pístu je minimálně 330 mm, což vyplývá z výpočtu. Požadovaný rozměr pístu není standardní, jelikož se pneumatické válce vyrábějí standardně maximálně do 320mm. Z toho vyplývá, že by se muselo jednat o kusovou výrobu pneumatického přímočarého válce, který by byl v tomto případě příliš drahý.



### 3.2 Realizace pomocí multiplikátoru tlaku

Další z možných variant je zvýšení tlaku pomocí multiplikátoru tlaku. Pokud zvýšíme vstupní tlak do přímočarého pneumomotoru, snížíme požadovaný průměr pístu. Na obr. 3.1 je znázorněn multiplikátor tlaku od firmy SMC. Z tab. 3.1 vyčteme, že lze navýšit tlak u typu VBA43A až na 1.2 MPa.



Obr. 3.1 Popis multiplikátoru tlaku [13]

#### Technické údaje

Velikost	VBA20A/40A	VBA22A/42A	VBA43A
Zesilovací poměr tlaků	max. 1:2		
Médium	stlačený vzduch, filtrovaný 5μm, nemazaný		
Rozsah výstupních tlaků	0,2-1,0 MPa		0,2-1,6 MPa
Rozsah vstupních tlaků	0,1-1,0 MPa		
Zkušební tlak	1,5 MPa		2,4 MPa
Teplota média a okolí	2-50°C (vysušený vzduch)		
Mazání	není dovolené		
Montážní poloha	horizontální		
Nastavení tlaku	ruční	ovládacím vzduchem	ruční
	regulátor tlaku s odvzdušněním		

Tab. 3.1 Technické údaje multiplikátoru tlaku od firmy SMC [13]

**Výpočet přímočarého pístu přímočarého pneumomotoru při navýšení tlaku na 1,2 MPa:**

**Výpočet plochy pístu**

$$F = p \cdot S$$

$$S = \frac{F}{p} = \frac{50 \cdot 10^3}{1,2 \cdot 10^6} = 0,042 \text{ m}^2$$

**Výpočet průměru pístu**

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,042}{\pi}} = 0,164 \text{ m} \cong 160 \text{ mm}$$

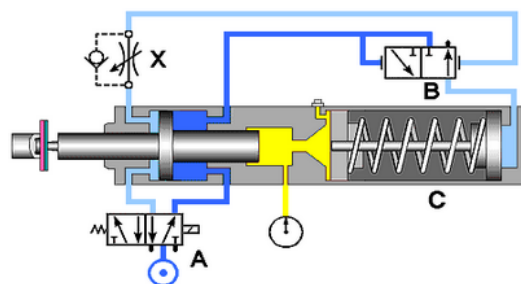
V případě použití multiplikátoru tlaku, který by zvýšil tlak z 0,6 MPa na 1,2 MPa, by byl zapotřebí přímočarý pneumomotor s průměrem pístu 180 mm dle normy ISO 15552.

### 3.3 Realizace pneumohydraulickým přímočarým motorem

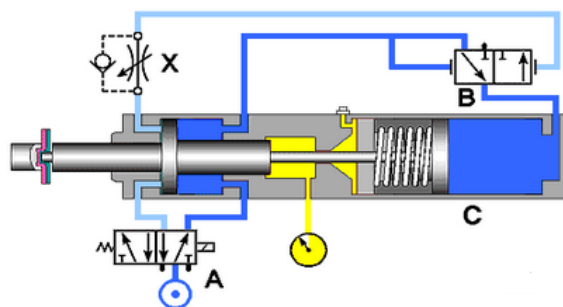
Jedná se o další způsob možnosti lisování. Pneumohydraulické přímočaré motory využívají přednosti pneumatiky (rychlost) a hydrauliky (síla). Například firma Kraftpaket vyrábí energeticky úsporné pneumatické válce s integrovaným hydraulickým systémem.

**Pracovní cyklus válce Kaftpaket je rozdělen do tří částí:**

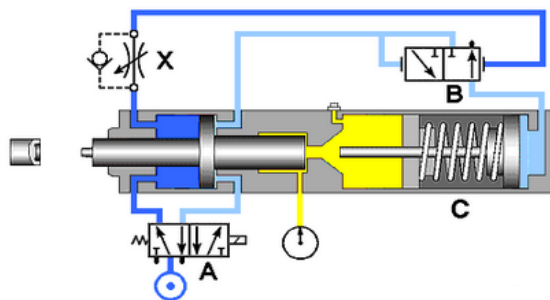
- Pneumatický rychlozdvih (obr. 3.2)
- Pneumohydraulicky silový zdvih (obr. 3.3)
- Pneumatický zpětný zdvih (obr. 3.4)



Obr. 3.2 Pneumatický rychlozdvih [12]



Obr. 3.3 Pneumohydraulicky silový zdvih [12]



Obr. 3.4 Pneumatický zpětný zdvih [12]

#### Parametry pnemohydraulického válce serie S od firmy Kraftpaket: [12]

- Lisovací síla 2 až 1740 kN
- Celkový zdvih až 400 mm
- Silový zdvih až 80 mm

#### Výhody pneumohydraulického přímočarého motoru: [12]

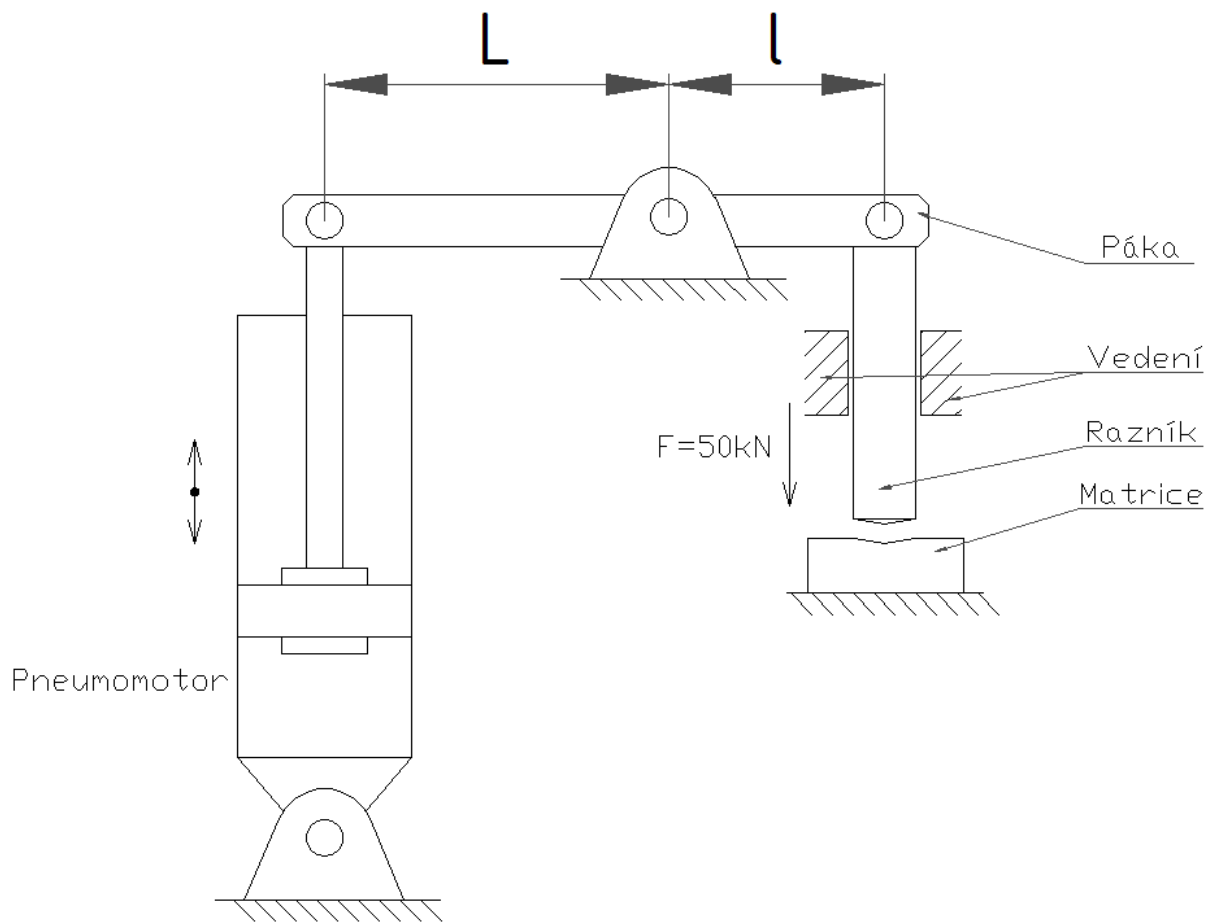
- Nízké provozní náklady
- Dlouhá životnost
- Bezúdržbový provoz
- Rychlý takt zařízení
- Dosednutí malou silou (nízké opotřebení nástroje)
- Nízká hladina hluku



Obr. 3.5 Pnemohydraulický válec série S od firmy Kraftpaket [12]

### 3.4 Realizace mechanickým převodem (páka)

Jedním ze způsobu, jak lze řešit lisování, je pomocí mechanického převodu. V mém případě se jedná o lisování pomocí páky, která nám zajistí požadovanou lisovací sílu. Takže můžeme použít pneumomotor s nižším vyvozením síly a následně tuto sílu zpřevodovat pomocí páky na požadovanou sílu 50 kN, viz obr. 3. 6.



Obr. 3.6 Schéma mechanického převodu pomocí páky

**Vzorový výpočet průměru válce pneumomotoru:**

**Výpočet potřebné síly na pneumomotoru:**

**Volím:**  $L=400\text{mm}$ ,  $l=100\text{mm}$

$$F_p \cdot L = F_L \cdot l$$

$$F_p = \frac{F_L \cdot l}{L} = \frac{50 \cdot 10^3 \cdot 0,1}{0,4} = 12500\text{N} = 12,5\text{kN}$$

kde  $F_p$ .....síla na pneumomotoru

$F_L$ .....lisovací síla

### ***Výpočet plochy pístu***

$$F_p = p \cdot S$$
$$S = \frac{F_p}{p} = \frac{12,5 \cdot 10^3}{0,6 \cdot 10^6} = 0,021 \text{ m}^2$$

### ***Výpočet průměru pístu***

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$
$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,021}{\pi}} = 0,164 \text{ m} \cong 164 \text{ mm}$$

V případě, že zvolíme způsob lisování pomocí mechanického převodu, je průměr válce 180 mm, a to za předpokladu, že páka je v poměru 4:1. Pokud tento poměr zvýšíme, získáme tím menší potřebnou sílu na pneumomotoru a tím pádem i menší průměr pístu. V tomto případě je také zapotřebí vymyslet a zkonstruovat celý mechanický převod a doložit ho pevnostními výpočty.

## 4. Návrh pneumatických obvodů

Zařízení na spojování protahovacích trnů lze rozdělit na dva obvody, a to:

- pneumatický obvod na odstranění trnu z ocelového drátu
- pneumatický obvod na lisování trubičky k ocelovým drátům

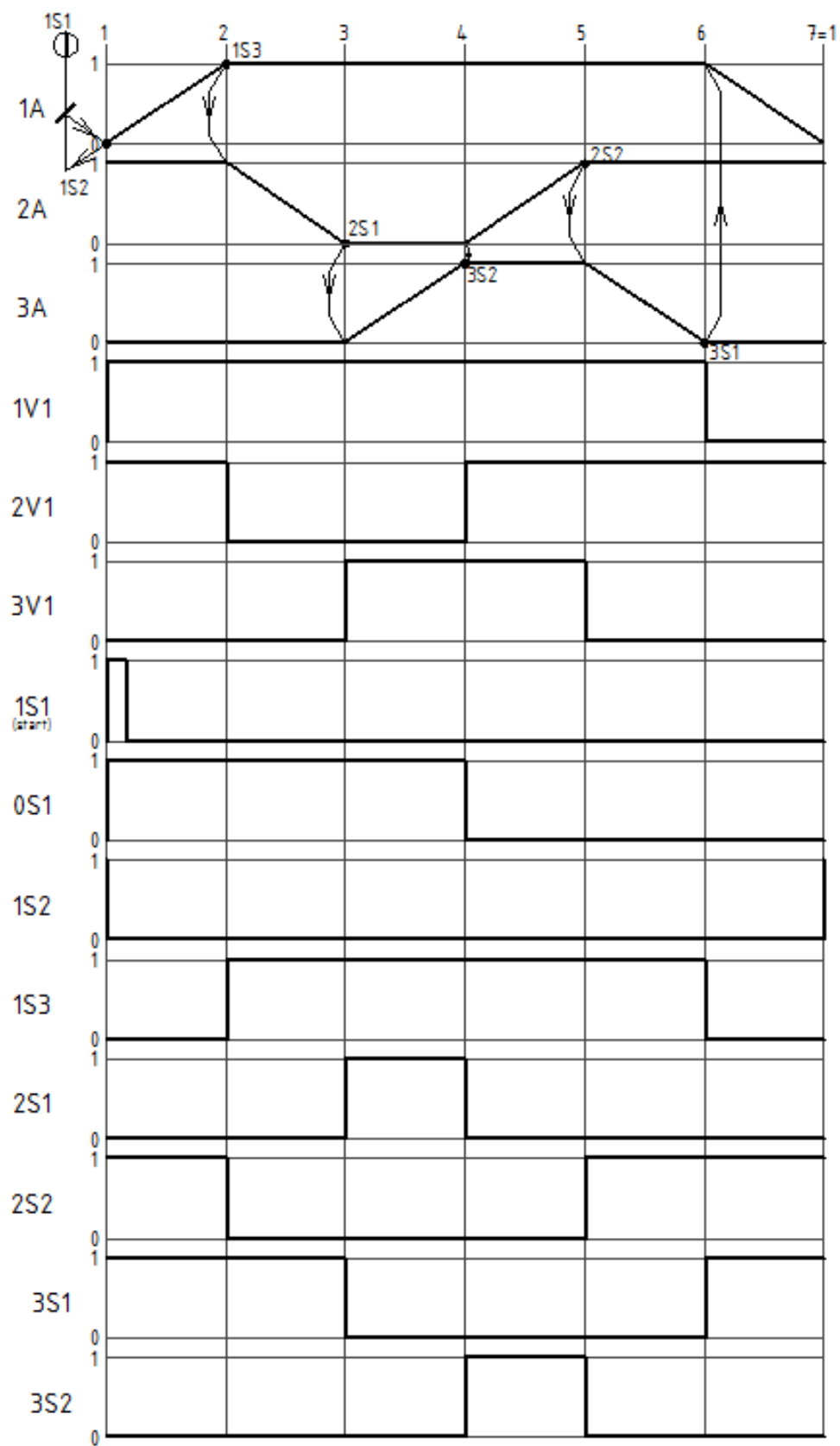
### 4.1 Pneumatický obvod na odstranění trnu z drátu

Znázornění průběhu pohybů pneumomotorů pneumatického obvodu je na obr. 4. 1. Je zde znázorněn jako komplexní diagram, ze kterého lze odečíst průběh pohybů jednotlivých pneumomotorů.

#### 4.1.1 Znázornění průběhů pohybů pneumomotorů

- *Zápis v chronologickém sledu*
1. Pístnice pneumomotoru 1A se vysune a zafixuje hadici.
  2. Pístnice pneumomotoru 2A se zasune.
  3. Pístnice pneumomotoru 3A se vysune a nadzvedne pneumomotor 2A cca o 20 mm.
  4. Pístnice pneumomotoru 2A se vysune a přestřihne pryž na hadici.
  5. Pístnice pneumomotoru 3A se zasune a tím pádem svlékne pryž z protahovacího trnu.
  6. Pístnice pneumomotoru 1A se zasune a uvolní hadici.

- *Komplexní diagram pohybů a ovládaní pneumatického obvodu*



*Obr. 4. 1 Komplexní diagram pohybů a ovládaní*

#### 4.1.2 Schéma pneumatického obvodu na odstranění trnu z ocelového drátu

Viz příloha Výkres SNK2KIH02K-2014-01

#### 4.1.3 Označení použitých prvků

<b>0Z1</b>	jednotka na úpravu stlačeného vzduchu
<b>0V1</b>	rozdávěč třicestný dvoupolohový 3/2, monostabilní, s aretací, ručním ovládáním
<b>1A, 2A, 3A</b>	dvojčinný přímočarý pneumomotor s jednostrannou pístnicí a oboustranným nastavitelným tlumením koncových poloh
<b>0S1, 1V1, 2V1, 3V1</b>	rozdávěč pěticestný dvoupolohový 5/2, bistabilní, pneumaticky ovládaný
<b>1S1</b>	tlačítko START - rozváděč dvoupolohový třicestný 3/2, monostabilní zpětný pohyb pomocí pružiny, v základní poloze uzavřen NC
<b>1V2, 2V2, 3V2, 3V3</b>	nastavitelný škrticí ventil s jednosměrným ventilem
<b>1V3, 1V4, 2V3, 3V4, 3V5</b>	logický prvek AND - logická funkce konjunkce či logický součin
<b>1S2, 1S3, 2S1, 2S2, 3S1, 3S2</b>	signální ventil konvové polohy pneumatického válce

#### 4.1.4 Funkce pneumatického obvodu na odstranění trnu z ocelového drátu

Tento obvod je navržen tak, aby nemusel obsahovat žádné prvky ovládané elektricky. K ovládání rozváděčů jsem použil signální šroubení, které je umístěno přímo na přímočarých pneumomotorech. Toto signální šroubení nahrazuje rozváděč s kladkou (pneumatický koncový spínač).

Abychom mohli spustit pneumatický obvod, stiskneme tlačítko START a tety



přestavíme rozváděč 1S1. Tímto stisknutím přivedeme tlakový signál na logický prvek AND 1V3 a pokud je splněna podmínka zasunutého pneumomotoru 1A, získáme také druhý tlakový signál na prvek 1V3 od signálního šroubení 1S2. A tím pádem dostaneme tlakový signál na rozváděč 0S1, kde dojde k jeho přestavení. Po přestavení rozváděče 0S1 proběhne přestavení rozváděče 1V1 a následné vysunutí pneumomotoru 1A, který zafixuje hadici. Po vysunutí pneumomotoru 1A dojde k aktivaci signálního šroubení 1S3, díky kterému dojde k přestavení rozváděče 2V1 a tím pádem k zasunutí pístnice pneumomotoru 2A. Po zasunutí pneumomotoru 2A dojde k aktivaci signálního šroubení 2S1, které přivede tlakový signál k logickému prvku AND 3V4. Druhý potřebný signál k logickému prvku AND získáme z rozváděče 0S1. Po aktivaci prvku 3V4 dojde k přestavení rozváděče 3V1 a k následnému vysunutí pneumomotoru 3A. Pneumomotor 2A se zvedne o cca 20 mm. Po vysunutí pneumomotoru 3A do krajní polohy se aktivuje signální šroubení 3S2. Tento signál nám přestaví rozváděč 0S1. Po přestavení rozváděče 0S1 dostane tlakový signál rozváděč 2V1 a dojde k vysunutí pneumomotoru 2A, stříh trnu. Po vysunutí pneumomotoru 2A dojde k aktivaci signálního šroubení 2S2. Tento signál je napojen na logický prvek AND 3V5, druhý potřebný signál zajišťuje rozváděč 0S1. Následně z logického prvku AND 3V5 putuje tlakový signál na rozváděč 3V1, po jeho přestavení dojde k zasunutí pneumomotoru 3A, svlečení trnu z ocelového drátu. Po zasunutí pneumomotoru 3A dojde k aktivaci signálního šroubení 3S1, který je napojen na logický prvek AND 1V4, druhý tlakový signál k prvku 1V4 je přiveden od rozváděče 0S1. Logický prvek 1V4 tlakovým signálem ovládá přestavení rozváděče 1V1, po jeho přestavení dojde k zasunutí pneumomotoru 1A, uvolnění hadice.

Tím je proces ukončen a může být prováděn znovu.

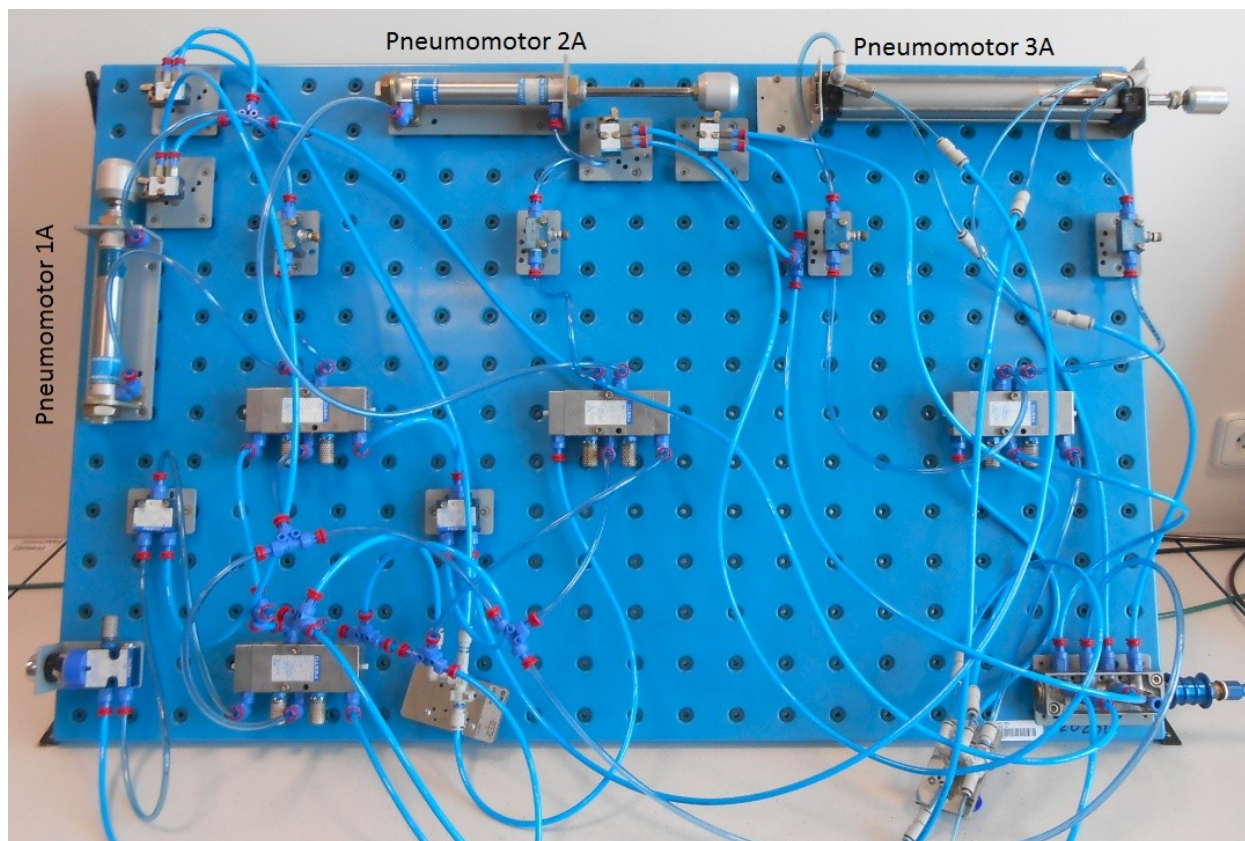
#### **4.1.5 Realizace obvodu**

Na základě návrhu pneumatického obvodu jsem sestavil obvod na výukovém тренаžéru od firmy Festo, obr. 4. 2.

Pneumatický obvod nebyl složen podle navrženého schématu, jelikož jsem měl k dispozici pouze dvě signální šroubení, které jsem použil na pneumomotoru 3A. Další signální šroubení na pneumomotech 1A a 2A jsem nahradil třicestnými dvupolohovými 3/2 rozváděči, monostabilními ovládanými kladkou. Ze sestrojeného

pneumatického obvodu lze usoudit, jakou mají signální šroubení výhodu oproti rozváděčům s kladkou. Signální šroubení je umístěno přímo na pneumomotoru, takže nezabírá téměř žádný prostor. Kdybych použil rozváděče s kladkou, musel bych tyto rozváděče složitě zakomponovat do funkčního obvodu.

Pneumaticky ovládaný obvod byl sestaven a odzkoušena jeho funkčnost, obr. 5. 2.

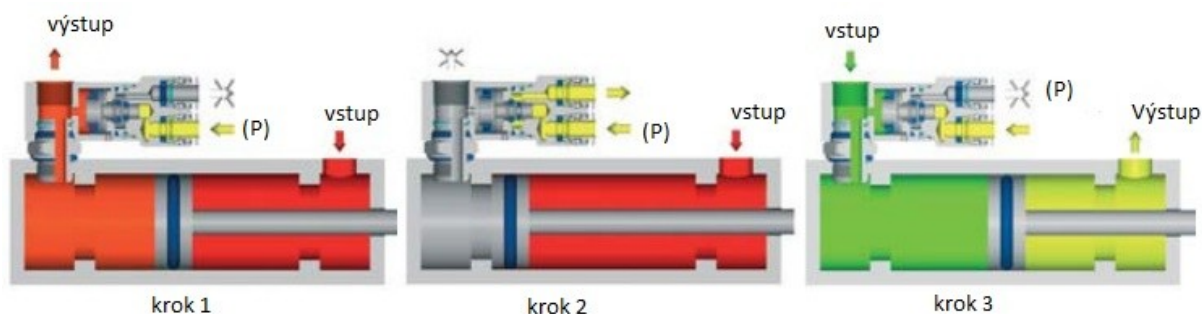


*Obr. 4.2 Realizace pneumatického obvodu na trenažéru od firmy Festo*

#### **4.1.6 Signální šroubení**

V navrženém pneumatickém obvodu jsou použity k řízení pneumomotorů signální šroubení od firmy STASTO typ MV52. Použitím tohoto signálního šroubení není zapotřebí použít komponenty, které potřebují ke své činnosti elektrickou energii, takže obvod je čistě ovládán pouze pneumaticky. Na obr. 4. 3 je znázorněno, jak signální šroubení pracuje. Šroubení je instalováno přímo na pneumomotor. Práce šroubení lze popsat ve třech krocích. V prvním kroku, jak je znázorněno na obr. 5. 3, se válec pneumomotoru zasouvá a signál ze šroubení není aktivní. V kroku číslo 2 lze vidět, že válec je již v krajní poloze a došlo k jeho odvzdušnění a tím pádem k aktivaci šroubení.

Na tomto místě je třeba upozornit, že pokud dojde k rychlému odvětrání, šroubení dá signál i když není píst v zasunuté poloze. Proto je třeba za šroubení umístit škrticí ventil s funkcí škrcení na výstupu a tento naladit tak, aby k odvětrání na nulový tlak došlo až skutečně v koncové poloze. V kroku číslo 3 je ukázáno, že pokud na vstup, kde je umístěno signální šroubení, přivedeme tlak šroubení, se neaktivuje. Hlavní výhodou tohoto prvku je kontrola změny zdvihu pneumatického válce bez elektrického připojení.



Obr. 4. 3 Popis funkce signálního šroubení typ MV52 [11]

## 4.2 Pneumatický obvod na lisování trubičky k ocelovému drátu

Pro realizaci pneumatického obvodu k lisování ocelového drátu do trubičky jsem zvolil lisování pomocí pneumohydraulického válce. Jako reálná možnost lisování pomocí pneumatického pohonu se mi jevila varianta s mechanickým převodem a již zmíněná volba pomocí pneumohydraulického válce. Tato volba lisování je dražší než lisování pomocí mechanického převodu. Pořizovací cena zvoleného pneumohydraulického válce je cca 2 100 eur. A cena pneumomotoru s průměrem válce 160 mm potřebného k lisování přes převod je cca 700 eur, ale zde je nutné připočítat cenu za konstrukci a výrobu převodu, která je cca 800 eur. Rozdíl ceny mezi zmíněnými způsoby lisování je 600 eur. Lisování pomocí pneumohydraulického válce má mnoho výhod, např. jednodušší aplikace na koncové zařízení, údržbu, aj., při čemž u lisování pomocí mechanického převodu bude zapotřebí údržba jak pneumomotoru, tak i mechanického převodu. Je zde více prvků na opotřebení (kluzná ložiska, mechanické opotřebení vodících prvků aj.).

### 4.2.1 Schéma pneumatického obvodu na lisování trubičky k ocelovému drátu

Viz příloha Výkres SNK2KIH02K-2014-02

#### 4.2.2 Označení použitých prvků

<b>0Z1</b>	jednotka na úpravu stlačeného vzduchu
<b>0V1</b>	rozdávěč třicestný dvoupolohový 3/2, monostabilní, s aretací, ruční ovládání
<b>1A</b>	pneumohydraulický válec
<b>1V1,</b>	rozdávěč pěticestný dvoupolohový 5/2, bistabilní, pneumaticky ovládaný
<b>1S1, 1S2</b>	tlačítko START - rozvávěč dvoupolohový třicestný 3/2, monostabilní zpětný pohyb pomocí pružiny, v základní poloze uzavřen NC
<b>1V2</b>	dvouruční ovládání, bezpečnostní díl dle směrnice EU pro stroje a zařízení
<b>1V3</b>	nastavitelný škrtící ventil s jednosměrným ventilem

#### 4.2.3 Funkce pneumatického obvodu na lisování trubičky k ocelovému drátu

Jedná se o zařízení, které má funkci pevně spojit trubičku s ocelovými dráty. Jelikož se jedná o lisování, musí pneumatický obvod obsahovat bezpečnostní prvek a tím je díl 1V2. Tento prvek nám zaručí, aby obsluha měla obě ruce na tlačítkách START, tedy na ventilech 1S1 a 1S2. Po současném stisknutí tlačítek START dojde k přestavení rozvávěče 1V1 a tím pádem k vysouvání pneumohydraulického válce. Po dobu celé operace je zapotřebí obě tlačítka držet.

#### 4.2.4 Realizace obvodu

Na obr. 4. 4 je realizován pneumatický obvod na lisování trubičky k ocelovému drátu. Místo bezpečnostního prvku 1V2 jsem použil logický prvek AND, který má podobnou funkci.



*Obr. 4. 4 Realizace pneumatického obvodu na trenažéru od firmy SMC*

## 5. Předběžná volba prvků a kontrolní výpočet

### 5.1 Výpočet parametrů přímočarého pneumomotoru

Jelikož nebyla zadána žádná potřebná síla na jednotlivé operace, konzultoval jsem s firmou MOS technik s.r.o., jak správně navrhnout pneumomotory, které budou vyvozovat potřebnou sílu. Firma MOS technik s.r.o. prováděla praktické zkoušky a z těchto zkoušek zjistila, že pro jednotlivé operace je zapotřebí síla, kterou vyvodí pneumomotor s průměrem pístu 80 mm.

Pneumomotor 1A slouží k upnutí hadice. Druhý pneumomotor 2A má funkci jako doraz, druhá jeho funkce je stříh trnu pomocí bříty. Poslední pneumomotor 3A slouží k posunu pneumomotoru 2A a tím nám zajistí svlečení trnu z kovového drátu.

Pro tyto pohony použiji stejný pneumomotor. Jedná se o dvojčinný pneumomotor s nastavitelným pneumatickým tlumením na obou stranách. Pomocí tohoto tlumení lze účinně zpomalit píst v koncových polohách a tím možnost použít vyšší rychlost pohybu. Použitím tohoto řešení docílíme nižší hlučnosti, menšího opotřebení a snížení vibrací.

#### 5.1.1 Návrh pneumomotoru

Výpočet je totožný pro všechny tři pneumomotory.

##### *Počáteční podmínky*

- pracovní tlak i přetlak jsou rovny:  $p_1=p_p=0,6\text{MPa}$
- tlak pro výfuk do rozvaděče volím:  $p_2=0,05\text{MPa}$

##### *Plocha pístu*

$$S_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$$S_1 = \frac{\pi \cdot 0,08^2}{4} = 5,03 \cdot 10^{-3} \text{m}^2 = 5030 \text{mm}^2$$

##### *Síla pneumomotoru*

$$F = p_1 \cdot S_1$$

$$F = 0,6 \cdot 10^6 \cdot 5,03 \cdot 10^{-3} = 3018 \text{N}$$

### **Skutečná síla pneumomotoru**

$$F_{sk} = p_1 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} - p_2 \cdot \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4}$$
$$F_{sk} = 0,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{\pi \cdot 0,08^2}{4} - 0,05 \cdot 10^6 \cdot \frac{\pi \cdot (0,08^2 - 0,02^2)}{4} = 2780,3N$$

Z katalogu firmy Festo volím pneumomotor: **DSBC-Q-80-50-PPVA**

-DSBC válec dle normy 15552, dvojčinný, PPV nastavitelné pneumatické tlumení na obou stranách, vnější závit na pístnici, pojištění proti pootočení.

- průměr pístu      ØD=80mm
- průměr pístnice    Ød=20mm
- zdvih              H=50mm



*Obr. 5.1.1 Pneumomotor typ DSBC*

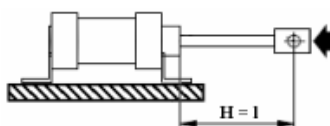
### **5.1.2 Kontrola pístnice na vzpěr**

#### **Moment setrvačnosti**

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$$
$$J = \frac{\pi \cdot 0,02^4}{64} = 7 \cdot 10^{-9} m^4$$

#### **Redukovaná délka**

$$l_{red} = 2 \cdot H$$
$$l_{red} = 2 \cdot 0,05 = 0,1m$$



*Obr. 5. 1.2 Uchycení pneumomotoru a působení síly*

### ***Kritická síla***

$$F_{KR} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{4 \cdot l_{red}^2}$$
$$F_{KR} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 7 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 0,1^2} = 3,63 \cdot 10^5 N$$

kde E je modul pružnosti oceli v tahu.....E=2,1.10<sup>11</sup>Pa

### ***Přípustná kritická síla***

$$F_{KRdov} = \frac{F_{KR}}{v}$$
$$F_{KRdov} = \frac{3,63 \cdot 10^5}{5} = 72600 N = 72,6 kN$$

kde v je součinitel bezpečnosti.....v=3,5÷10 volím v=5

### ***Kontrola na mezní případ vzpěru v konečné poloze***

$$F_{SKmax} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot p_p$$
$$F_{SKmax} = \frac{\pi \cdot 0,08^2}{4} \cdot 0,6 \cdot 10^6 = 3016,93 N$$

Podmínka: F<sub>KRdov</sub> ≥ F<sub>SKmax</sub>

Vyhovuje: 72,6kN ≥ 3,02kN

## **5.1.3 Spotřeba vzduchu na jeden pracovní cyklus**

### ***Objem vzduchu při vysouvání pístnice***

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H$$
$$V_1 = \frac{\pi \cdot 0,08^2}{4} \cdot 0,05 = 0,251 \cdot 10^{-3} m^3$$

### ***Objem vzduchu při zasouvání pístnice***

$$V_2 = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot H$$
$$V_2 = \frac{\pi \cdot (0,08^2 - 0,02^2)}{4} \cdot 0,05 = 0,236 \cdot 10^{-3} m^3$$

### ***Celkový objem vzduchu na jeden pracovní cyklus***

$$V_C = V_1 + V_2$$
$$V_C = 0,251 \cdot 10^{-3} + 0,236 \cdot 10^{-3} = 0,487 \cdot 10^{-3} m^3$$



***Celkový objem vzduchu na jeden pracovní cyklus přepočtený na normální stav***

$$V_{CN} = V_C \cdot \frac{p_{1abs}}{p_N}$$

$$V_{CN} = 0,487 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0,7}{0,1} = 3,409 \cdot 10^{-3} m^3$$

***Doba vysouvání pístnice***

$$t_1 = \frac{D^2 \cdot H}{d_t^2 \cdot v_t}$$

$$t_1 = \frac{0,08^2 \cdot 0,05}{0,004^2 \cdot 25} = 0,8s$$

kde  $d_t$ ...průměr přívodního potrubí

$v_t$ ...rychlost přívodního potrubí  $v_t=20\div 25m \cdot s^{-1}$  volím  $v_t=25m \cdot s^{-1}$

***Doba zasouvání pístnice***

$$t_2 = \frac{(D^2 - d^2) \cdot H}{d_t^2 \cdot v_t}$$

$$t_2 = \frac{(0,08^2 - 0,02^2) \cdot 0,05}{0,004^2 \cdot 25} = 0,75s$$

***Čas pracovního cyklu***

$$t_C = t_1 + t_2$$

$$t_C = 0,8 + 0,75 = 1,55s$$

***Střední spotřeba vzduchu během jednoho pracovního cyklu***

$$Q_{STŘ} = \frac{V_{CN}}{t_C}$$

$$Q_{STŘ} = \frac{3,409 \cdot 10^{-3}}{1,55} = 2,2 \cdot 10^{-3} m^3 \cdot s^{-1} = 132 dm^3 \cdot min^{-1}$$

## **5.1.4 Dynamika pohonu**

***Rychlost pohybu válce***

$$v = \frac{2 \cdot H}{t_C}$$

$$v = \frac{2 \cdot 0,05}{1,55} = 0,065 m \cdot s^{-1}$$

### ***Ustálená rychlost pohybu válce***

$$v_u = \frac{H}{0,5 \cdot t_r + t_u + 0,5 \cdot t_b}$$
$$v_u = \frac{0,05}{0,5 \cdot 0,1 + 0,575 + 0,5 \cdot 0,1} = 0,074 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

kde dobu rozběhu a brzdění volím  $t_r=t_b=0,1 \text{ s}$

$$t_u = \frac{t_c}{2} - t_r - t_b$$
$$t_u = \frac{1,55}{2} - 0,1 - 0,1 = 0,575 \text{ s}$$

### ***Zrychlení při rozběhu a brzdění***

$$a = \frac{v_u}{t_r}$$
$$a = \frac{0,074}{0,1} = 0,74 \text{ m} \cdot \text{s}^2$$

## **5.2 Výpočet průtokové propustnosti pneumatických obvodů**

Pomocí výpočtu zjistíme průtokové propustnosti pneumatického obvodu mezi zdrojem tlaku (jednotka pro úpravu vzduchu) a pracovním prvkem (pneumomotor). Tam jsou umístěny prvky (rozvaděče, škrtící ventily, aj.), které ovlivňují výpočet.

Výpočet se provádí metodou nahrazení ekvivalentním průtokem, u výpočtu rozlišujeme dva druhy zapojení pneumatických prvků, a to sériově a paralelně.

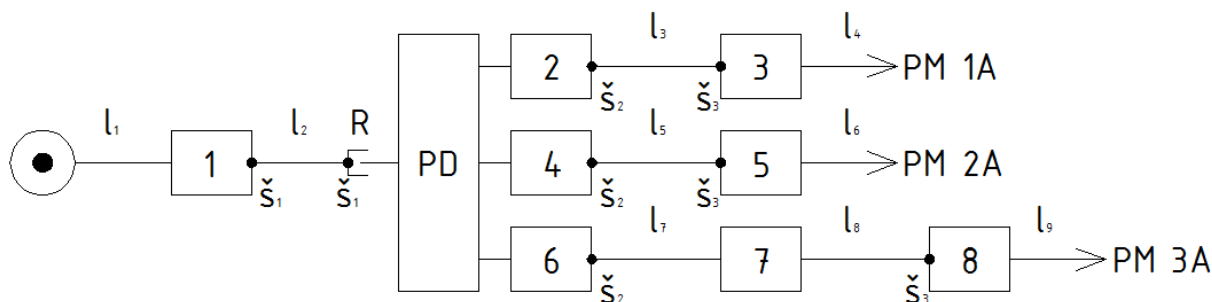
- *Ekvivalentní průtok pro sériové řazení prvků*

$$Q_{Ne} = \sqrt{\frac{1}{\sum_1^i \frac{1}{Q_{Ni}^2}}}$$

- *Ekvivalentní průtok pro paralelní řazení prvků*

$$Q_{Ne} = \sum_1^i Q_{Ni}$$

V navrženém obvodu se jedná o sériové zapojení, viz obr. 5. 2.1, jelikož nebude docházet k současnému pohybu pneumomotorů, to znamená, že jednotlivé prvky budou řazeny sériově. Každé zapojení pneumomotorů bude spočítáno samostatně.



Obr. 5. 2.1 Schéma zapojení jednotlivých prvků v obvodu

## 5.2.1 Výpočet průtokové propustnosti pneumomotorů 1A a 2A

Jak je patrné z obr. 5.2.1 a obr. 5.2.3, zapojení pneumomotoru 1A a pneumomotoru 2A je totožné, a proto výpočet průtokové propustnosti bude pro oba pneumomotory stejný.

### Výpočet průtoku pneumomotoru

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= S_1 \cdot v_u & Q_2 &= S_2 \cdot v_u \\
 Q_1 &= \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot v_u & Q_2 &= \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot v_u \\
 Q_1 &= \frac{\pi \cdot 0,08^2}{4} \cdot 0,074 = & Q_2 &= \frac{\pi \cdot (0,08^2 - 0,02^2)}{4} \cdot 0,074 = \\
 &= 0,372 \cdot 10^{-3} m^3 \cdot s^{-1} & &= 0,349 \cdot 10^{-3} m^3 \cdot s^{-1}
 \end{aligned}$$

### Výpočet průtoku pneumomotoru přepočtený na normální podmínky

$$\begin{aligned}
 Q_{1N} &= Q_1 \cdot \frac{p_{1abs}}{p_N} \\
 Q_{1N} &= 0,372 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0,7 \cdot 10^6}{0,1 \cdot 10^6} = 2,604 \cdot 10^{-3} m^3 \cdot s^{-1} = 156 dm^3 \cdot min^{-1}
 \end{aligned}$$

### Návrh průměru hadice

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= S_v \cdot v_t \\
 Q_1 &= \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot v_t \\
 d_1 &= \sqrt{\frac{4 \cdot Q_1}{\pi \cdot v_t}} \\
 d_1 &= \sqrt{\frac{4 \cdot 0,372 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 25}} = 0,0044 m = 4,4 mm
 \end{aligned}$$

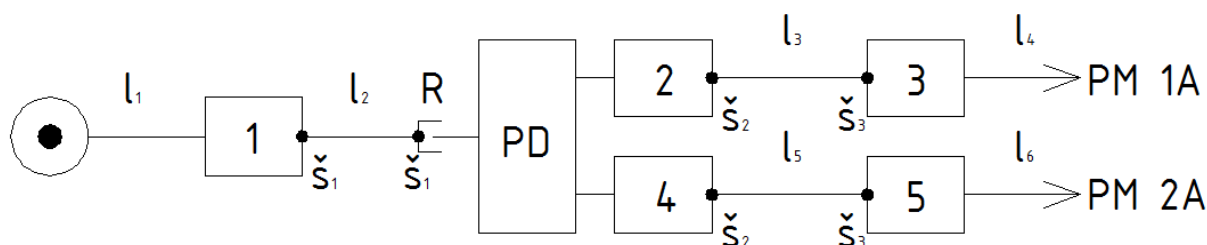
kde  $v_t$ ...rychlost přívodního potrubí  $v_t=20 \div 25 m \cdot s^{-1}$  volím  $v_t=25 m \cdot s^{-1}$

Dle výpočtu potřebného průměru hadice volím hadici s vnitřním průměrem 5,7 mm. Z katalogu firmy Festo volím plastovou hadici **PUN-8x1,5-SW**.

- Vnější průměr  $D_H=8\text{mm}$
- Vnitřní průměr  $d_H=5,7\text{mm}$
- Poloměr ohybu  $R=37\text{mm}$



Obr. 5. 2.2 Hadice typu PUN



Obr. 5. 2.3 Schéma zapojení pneumomotoru 1A a pneumomotoru 2A

V tab. 5.1 jsou vytypovány jednotlivé prvky, které jsou použity k realizaci pneumatického obvodu. V tabulce jsou tyto prvky doplněny o jejich normované průtoky.

Prvek	Typ	$Q_{Ni}$ [dm <sup>3</sup> <sub>N</sub> .min <sup>-1</sup> ]	Mn.
1	Jednotka na úpravu st. vzduchu FRC-3/8-D-7-MIDI	2000	1ks
2=4	Rozvaděč bistabilní 5/2 J-5-1/4-B	1600	1ks
3=5	Koncové signální šroubení MV 52 3/8	1950	1ks
š <sub>1</sub> =š <sub>3</sub>	Šroubení NPQM-D-G38-Q8-P10	2100	3ks
š <sub>2</sub>	Šroubení NPQM-D-G14-Q8-P10	1800	1ks
R	Redukce D-3/8I-1/2A	5850	1ks
l <sub>2</sub>	Hadice PUN-8x1,25-SW	1700	0,5m
l <sub>3</sub>	Hadice PUN-8x1,25-SW	1300	1,5m
l <sub>1</sub> =l <sub>4</sub> =l <sub>6</sub> =0			

Tab. 5.1 Tabulka prvků použitých v obvodu

### ***Výpočet ekvivalentního průtoku větve s pneumomotorem 1A a pneumomotorem 2A***

$$Q_{Ne} = \sqrt{\frac{1}{\sum_1^i \frac{1}{Q_{Ni}^2}}}$$

$$Q_{Ne} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{2000^2} + \frac{1}{1600^2} + \frac{1}{1950^2} + \frac{3}{2100^2} + \frac{1}{1800^2} + \frac{1}{5850^2} + \frac{1}{1700^2} + \frac{1}{1300^2}}}$$

$$Q_{Ne} = 591,7 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

Aby byla splněna funkčnost pneumatického obvodu, musí platit:

$$Q_{Ne} \geq Q_{1N}$$

$$591,7 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1} > 156 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

Vyhovuje

### **5.2.2 Výpočet průtokové propustnosti pneumomotoru 3A**

#### ***Výpočet průtoku pneumomotoru 3A***

Výpočet průtoku pneumomotoru 3A Obr. 5. 2. 4. je totožný s výpočtem průtoku pro pneumomotory 1.0, 2.0. Jelikož se jedná o jeden typ pneumatického válce a tedy:

$$Q_1 = 0,372 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

$$Q_2 = 0,349 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

#### ***Výpočet průtoku pneumomotoru 3A přepočtený na normální podmínky***

$$Q_{1N} = Q_1 \cdot \frac{p_{1abs}}{p_N}$$

$$Q_{1N} = 0,372 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0,7 \cdot 10^6}{0,1 \cdot 10^6} = 2,604 \cdot 10^{-3} \text{ m}_N^3 \cdot \text{s}^{-1} = 156 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

#### ***Návrh průměru hadice***

$$Q_1 = S_v \cdot v_t$$

$$Q_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot v_t$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_1}{\pi \cdot v_t}}$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,372 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 25}} = 0,0044 \text{ m} = 4,4 \text{ mm}$$

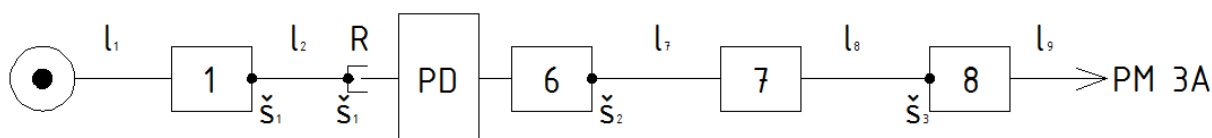
kde  $v_t$ ...rychlost přívodního potrubí  $v_t=20\div 25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  volím  $v_t=25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Dle výpočtu potřebného průměru hadice volím hadici s vnitřním průměrem 5,7 mm. Z katalogu firmy Festo volím plastovou hadici **PUN-8x1,5-SW**.

- Vnější průměr  $D_H=8\text{mm}$
- Vnitřní průměr  $d_H=5,7\text{mm}$
- Poloměr ohybu  $R=37\text{mm}$



Obr. 5.2.3 Hadice typu PUN



Obr. 5. 2.4 Schéma zapojení pneumomotoru 3A

V tab. 5. 2 jsou vytipovány jednotlivé prvky, které jsou použity k realizaci pneumatického obvodu. V tabulce jsou tyto prvky doplněny o jejich normované průtoky.

Prvek	Typ	$Q_{Ni}$ [dm <sup>3</sup> <sub>N</sub> .min <sup>-1</sup> ]	Mn.
1	Jednotka na úpravu st. vzduchu FRC-3/8-D-7-MIDI	2000	1ks
6	Rozvaděč bistabilní 5/2 J-5-1/4-B	550	1ks
7	Škrťací ventil GR-QS-8	225	1ks
8	Koncové signální šroubení MV 52 3/8	1950	1ks
š <sub>1</sub> =š <sub>3</sub>	Šroubení NPQM-D-G38-Q8-P10	2100	3ks
š <sub>2</sub>	Šroubení NPQM-D-G14-Q8-P10	1800	1ks
R	Redukce D-3/8I-1/2A	5850	1ks
l <sub>2</sub>	Hadice PUN-8x1,25-SW	1700	0,5m
l <sub>7</sub>	Hadice PUN-8x1,25-SW	1500	1m
l <sub>8</sub>	Hadice PUN-8x1,25-SW	1700	0,5m
l <sub>1</sub> =l <sub>9</sub> =0			

Tab. 5. 2 Tabulka prvků použitých v obvodu

### ***Výpočet ekvivalentního průtoku větve s pneumomotorem 3A***

$$Q_{Ne} = \sqrt{\frac{1}{\sum_1^i \frac{1}{Q_{Ni}^2}}}$$

$$Q_{Ne} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{2000^2} + \frac{1}{1600^2} + \frac{1}{225^2} + \frac{1}{1950^2} + \frac{3}{2100^2} + \frac{1}{1800^2} + \frac{1}{5850^2} + \frac{1}{1700^2} + \frac{1}{1500^2} + \frac{1}{1700^2}}}$$

$$Q_{Ne} = 209,4 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

Aby byla splněna funkčnost pneumatického obvodu, musí platit:

$$Q_{Ne} \geq Q_{1N}$$

$$209,4 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1} > 156 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

Vyhovuje

### **5.2.3 Výpočet průtokové propustnosti pneumohydraulického válce**

Schéma zapojení pneumohydraulického válce je znázorněno na obr. 5. 2.6

#### ***Výpočet průtoku pneumohydraulického válce***

$$Q_1 = S_1 \cdot v_u$$

$$Q_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{H}{t}$$

$$Q_1 = \frac{\pi \cdot 0,085^2}{4} \cdot \frac{0,1}{2} = 0,284 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

kde

zdvih pneumohydraulického válce.....H=0,1m

dobu zdvihu.....t=2s

#### ***Výpočet průtoku pneumomotoru přepočtený na normální podmínky***

$$Q_{1N} = Q_1 \cdot \frac{p_{1abs}}{p_N}$$

$$Q_{1N} = 0,284 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0,7 \cdot 10^6}{0,1 \cdot 10^6} = 1,988 \cdot 10^{-3} \text{ m}_N^3 \cdot \text{s}^{-1} = 119,3 \text{ dm}_N^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

### Návrh průměru hadice

$$Q_1 = S_v \cdot v_t$$

$$Q_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot v_t$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_1}{\pi \cdot v_t}}$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,284 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 25}} = 0,0038m = 3,8mm$$

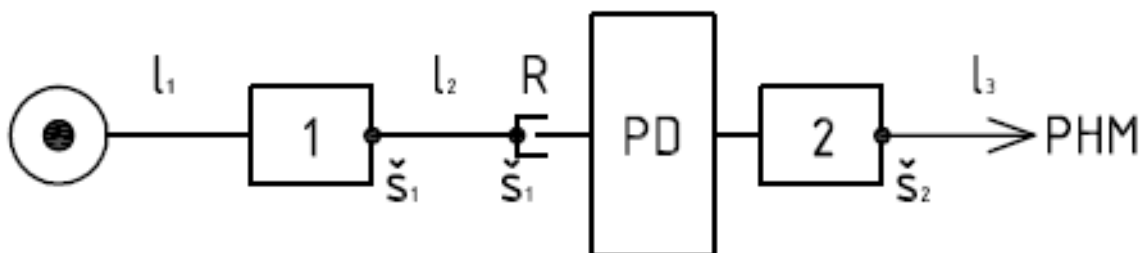
kde  $v_t$ ....rychlost přívodního potrubí  $v_t=20\div 25m.s^{-1}$  volím  $v_t=25m.s^{-1}$

Dle výpočtu potřebného průměru hadice volím hadici s vnitřním průměrem 5,7 mm. Z katalogu firmy Festo volím plastovou hadici **PUN-8x1,5-SW**.

- Vnější průměr  $D_H=8mm$
- Vnitřní průměr  $d_H=5,7mm$
- Poloměr ohybu  $R=37mm$



Obr. 5. 2.5 Hadice typu PUN



Obr. 5. 2.6 Schéma zapojení pneumohydraulického válce

V tab. 5. 3 jsou vytipovány jednotlivé prvky, které jsou použity k realizaci pneumatického obvodu. V tabulce jsou tyto prvky doplněny o jejich normované průtoky.



Prvek	Typ	$Q_{Ni}$ [dm <sup>3</sup> .min <sup>-1</sup> ]	Mn.
1	Jednotka na úpravu st. vzduchu FRC-3/8-D-7-MIDI	2000	1ks
2	Rozvaděč monostabilní 5/2 VL-5-1/4-B	1300	1ks
š <sub>1</sub>	Šroubení NPQM-D-G38-Q8-P10	2100	2ks
š <sub>2</sub>	Šroubení NPQM-D-G14-Q8-P10	1800	1ks
R	Redukce D-3/8I-1/2A	5850	1ks
l <sub>2</sub>	Hadice PUN-8x1,25-SW	1700	0,5m
l <sub>3</sub>	Hadice PUN-8x1,25-SW	1150	2m
l <sub>1</sub> =0			

Tab. 5. 3 Tabulka prvků použitých v obvodu

**Výpočet ekvivalentního průtoku větve s pneumohydraulickým válcem**

$$Q_{Ne} = \sqrt{\frac{1}{\sum_1^i \frac{1}{Q_{Ni}^2}}}$$

$$Q_{Ne} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{2000^2} + \frac{1}{1300^2} + \frac{2}{2100^2} + \frac{1}{1800^2} + \frac{1}{5850^2} + \frac{1}{1700^2} + \frac{1}{1150^2}}}$$

$$Q_{Ne} = 604,9 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

Aby byla splněna funkčnost pneumatického obvodu, musí platit:

$$Q_{Ne} \geq Q_{1N}$$

$$604,9 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1} > 119,3 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

Vyhovuje

## 6. Specifikace prvků

### 6.1 Specifikace společných prvků v pneumatických obvodech

Jedná se o prvky shodné pro oba pneumatické obvody, o jednotku pro úpravu stlačeného vzduchu, uzavírací ventil, připojovací desku a šroubení.

#### *Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu*

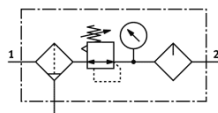
Označení: FRC-3/8-D-7-MIDI (Festo)

Obsahuje redukční ventil, filtr, maznici a manometr. Automatické odpouštění kondenzátu.

##### Charakteristické vlastnosti

množství	1ks
připojení	G 3/8
filtrace	40 $\mu\text{m}$
normální jmenovitý průtok	2000 dm <sup>3</sup> /min
rozsah řízeného tlaku	0,5 až 7 bar
provozní tlak	1 až 16 bar

značka



Obr. 6. 1.1 FRC-3/8-D-7-MIDI

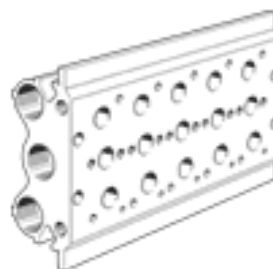
#### *Připojovací deska*

Označení: PRS-1/4-5-B (Festo)

Připojovací deska pro 5 ventilů

##### Charakteristické vlastnosti

množství	1 ks
připojení	G 1/2
materiál	hliník



Obr. 6. 1.2 PRS-1/4-5-B

### ***Šroubení***

Označení: NPQM-D-G38-Q8-P10 (Festo)

#### Charakteristické vlastnosti

množství	2 ks
připojení	G 3/8
vnější průměr hadice	8 mm
jmenovitá světlost	6 mm



*Obr. 6. 1.3 NPQM-D-G38-Q8-P10*

### ***Redukce***

Označení: D-3/8I-1/2A (Festo)

#### Charakteristické vlastnosti

množství	3 ks
připojení vnější závit	G 1/2
připojení vnitřní závit	G 3/8



*Obr. 6. 1.4 D-3/8I-1/2A*

### ***Tlumič hluku***

Označení: U-1/2 (Festo)

#### Charakteristické vlastnosti

množství	2 ks
připojení	G 1/2
provozní tlak	0 až 10 bar
normální jmenovitý průtok	10600 dm <sup>3</sup> /min
hladina akustického tlaku	80 dB (A)
materiál tlumicí vložky	PE



*Obr. 6. 1.5 U-1/2*

značka



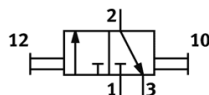
### ***Ruční šoupátko***

Označení: VBOH-32-G12 (Festo)

#### Charakteristické vlastnosti

množství	1 ks
připojení	G 1/2
normální jmenovitý průtok	3420 dm <sup>3</sup> /min
provozní tlak	-0,95 až 12 bar

značka



Obr. 6. 1.6 VBOH-32-G12

### ***Hadice***

Označení: PUN-8x1,25-SW (Festo)

#### Charakteristické vlastnosti

množství	1 m
vnitřní průměr	d = 5,7 mm
vnější průměr	D = 8 mm
provozní tlak	0,95 až 10 bar
Poloměr ohybu	R = 37 mm



Obr. 6. 1.7 PUN-8x1,25-SW

## **6.2 Specifikace prvků pro pneumatický obvod na odstranění trnu z drátu**

Soupis prvků od připojovací desky po pneumomotory 1A, 2A a 3A.

### ***Pneumomotory***

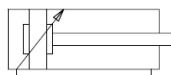
Označení: DSBC-Q-80-50-PPVA (Festo)

- dvojčinný válec s nastavitelným tlumením v koncových polohách, pojištění proti pootočení.

#### Charakteristické vlastnosti

množství	3 ks
připojení	G 3/8
průměr pístu	80 mm
průměr pístnice	20 mm
zdvih	50 mm
provozní tlak	0,6 až 12 bar

značka



Obr. 6. 2.1 DSBC-Q-80-50-PPVA

### **Rozvaděč**

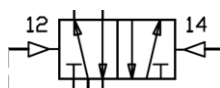
Označení: J-5-1/4-B (Festo)

- pěticestný dvoupolohový 5/2 rozvaděč, s pneumatickým ovládáním, bistabilní.

#### Charakteristické vlastnosti

množství	4 ks
připojení pneumatiky	G 1/4
připojení řídicího tlaku	G 1/8
normální jmenovitý průtok	1600 dm <sup>3</sup> /min
čas pro sepnutí	3 m/s
provozní tlak	-0,9 až 10 bar

značka



Obr. 6. 2.2 J-5-1/4-B

### **Rozvaděč**

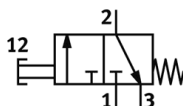
Označení: PV-3-1/8 (Festo)

- třícestný dvoupolohový 5/2 rozvaděč, s ručním ovládáním, monostabilní. V klidu uzavřen NC.

#### Charakteristické vlastnosti

množství	1 ks
připojení pneumatiky	G 1/8
normální jmenovitý průtok	80 dm <sup>3</sup> /min
provozní tlak	-0,9 až 8 bar

značka



Obr. 6. 2.3 PV-3-1/8

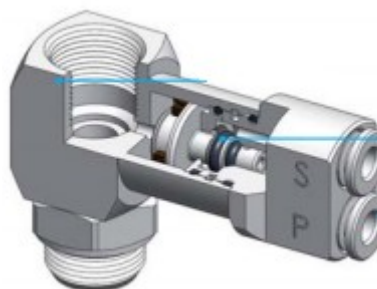
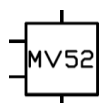
### **Signální šroubení**

Označení: MV 52 00 38 (STASTO)

#### Charakteristické vlastnosti

množství	6 ks
připojení pneumatiky	G 3/4
připojení řídicího tlaku	Ø4 mm
provozní tlak	0,9 až 10 bar

značka



Obr. 6. 2.4 MV 52 00 38

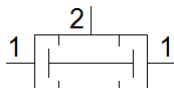
### **Logický prvek AND**

Označení: ZK-1/8-B (Festo)

#### Charakteristické vlastnosti

množství	5 ks
připojení pneumatiky	G 1/8
normální jmenovitý průtok	550 dm <sup>3</sup> /min
provozní tlak	1 až 10 bar

značka



Obr. 6. 2.5 ZK-1/8-B

### **Jednosměrný škrticí ventil**

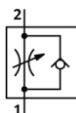
Označení: GR-QS-8 (Festo)

- škrticí ventil s nastavitelností průtoku v jednom směru.

#### Charakteristické vlastnosti

množství	4 ks
připojení pneumatiky	Ø 8mm
normální jmenovitý průtok	225 dm <sup>3</sup> /min
provozní tlak	0,2 až 10 bar

značka



Obr. 6. 2.6 GR-QS-8

### **Tlumič hluku**

Označení: U-1/8 (Festo)

#### Charakteristické vlastnosti

množství	1 ks
připojení	G 1/8
provozní tlak	0 až 10 bar
normální jmenovitý průtok	2050 dm <sup>3</sup> /min
hladina akustického tlaku	77 dB (A)
materiál tlumící vložky	PE

značka



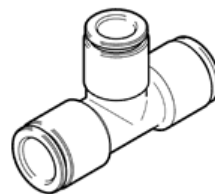
Obr. 6. 2.7 U-1/8

### ***T-kus***

Označení: NPQH-T-Q8-Q6-P10(Festo)

#### Charakteristické vlastnosti

množství	11 ks
připojení	8x6x8
provozní tlak	-0,95 až 16 bar



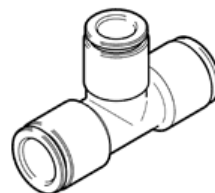
Obr. 6. 2.8 NPQH-T-Q8-Q6-P10

### ***T-kus***

Označení: NPQH-T-Q8-E-P10(Festo)

#### Charakteristické vlastnosti

množství	4 ks
připojení	8x8x8
provozní tlak	-0,95 až 16 bar



Obr. 6. 2.9 NPQH-T-Q8-E-P10

### ***Šroubení***

Označení: NPQM-D-G38-Q8-P10 (Festo)

#### Charakteristické vlastnosti

množství	6 ks
připojení	G 3/8
vnější průměr hadice	8 mm
jmenovitá světlost	6 mm



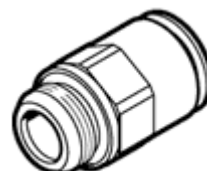
Obr. 6. 2.10 NPQM-D-G38-Q8-P10

### ***Šroubení***

Označení: NPQM-D-G14-Q8-P10 (Festo)

#### Charakteristické vlastnosti

množství	8 ks
připojení	G 1/4
vnější průměr hadice	8 mm
jmenovitá světlost	6 mm



Obr. 6. 2.11 NPQM-D-G14-Q8-P10

### ***Šroubení***

Označení: NPQM-D-G18-Q6-P10 (Festo)

#### Charakteristické vlastnosti

množství	23 ks
připojení	G 1/8
vnější průměr hadice	6 mm
jmenovitá světlost	4 mm



*Obr. 6. 2.12 NPQM-D-G18-Q6-P10*

### ***Hadice***

Označení: PUN-8x1,25-SW (Festo)

#### Charakteristické vlastnosti

množství	cca 7 m
vnitřní průměr	d = 5,7 mm
vnější průměr	D = 8 mm
provozní tlak	-0,95 až 10 bar
Poloměr ohybu	R = 37 mm



*Obr. 6. 2.13 PUN-8x1,25-SW*

### ***Hadice***

Označení: PUN-6x1-BL (Festo)

#### Charakteristické vlastnosti

množství	cca 12 m
vnitřní průměr	d = 4 mm
vnější průměr	D = 6 mm
provozní tlak	-0,95 až 10 bar
Poloměr ohybu	R = 16 mm



*Obr. 6. 2.14 PUN-6x1-SW*



### 6.3 Specifikace prvků pro pneumatický obvod na lisování

Soupis prvků od přípojovací desky po pneumohydraulický válec:

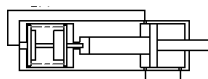
#### ***Pneumo-hydraulický válec***

Označení: Q-S 008.030.100 (TOX)

##### Charakteristické vlastnosti

množství	1 ks
připojení pneumatiky	G 1/2
vnější závit na pístnici	M30x2
průměr pístu	85 mm
průměr pístnice	45 mm
síla	74 000 N
zdvih	1000 mm
silový zdvih	12 mm

značka



Obr. 6. 3.1 pneumohydraulický válec Q-S

#### ***Rozvaděč***

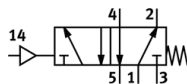
Označení: VL-5-1/4-B (Festo)

- pěticestný dvoupolohový 5/2 rozvaděč, s pneumatickým ovládáním, monostabilní

##### Charakteristické vlastnosti

množství	1 ks
připojení pneumatiky	G 1/4
připojení řídicího tlaku	G 1/8
normální jmenovitý průtok	1300 dm <sup>3</sup> /min
čas pro sepnutí	2 ms
provozní tlak	1,5 až 10 bar

značka



Obr. 6. 3.2 J-5-1/4-B

### **Rozvaděč**

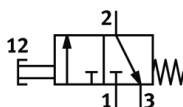
Označení: PV-3-1/8 (Festo)

- třístavový dvoupolohový 5/2 rozvaděč, s ručním ovládáním, monostabilní, v klidu uzavřen NC

#### Charakteristické vlastnosti

množství	2 ks
připojení pneumatiky	G 1/8
normální jmenovitý průtok	80 dm <sup>3</sup> /min
provozní tlak	-0,9 až 8 bar

značka



Obr. 6. 3.3 PV-3-1/8

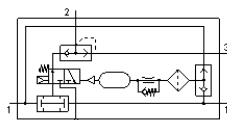
### **Blok dvouručního ovládání**

Označení: ZSB-1/8-B (Festo)

#### Charakteristické vlastnosti

množství	1 ks
připojení pneumatiky	G 1/8
provozní tlak	4 až 8 bar
normální jmenovitý průtok	50 dm <sup>3</sup> /min

značka



Obr. 6. 3.4 ZSB-1/8-B

### **Tlumič hluku**

Označení: U-1/8 (Festo)

#### Charakteristické vlastnosti

množství	2 ks
připojení	G 1/8
provozní tlak	0 až 10 bar
normální jmenovitý průtok	2050 dm <sup>3</sup> /min
hladina akustického tlaku	77 dB (A)
materiál tlumící vložky	PE

značka



Obr. 6. 3.5 U-1/8

### ***Jednosměrný škrťací ventil***

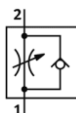
Označení: GR-QS-8 (Festo)

- škrťací ventil s nastavitelností průtoku v jednom směru

#### Charakteristické vlastnosti

množství	1 ks
připojení pneumatiky	Ø 8mm
normální jmenovitý průtok	225 dm <sup>3</sup> /min
provozní tlak	0,2 až 10 bar

značka



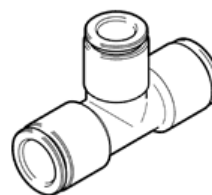
*Obr. 6. 3.6 GR-QS-8*

### ***T-kus***

Označení: NPQH-T-Q8-Q6-P10(Festo)

#### Charakteristické vlastnosti

množství	2 ks
připojení	8x6x8
provozní tlak	-0,95 až 16 bar



*Obr. 6. 3.7 NPQH-T-Q8-Q6-P10*

### ***Šroubení***

Označení: NPQM-D-G38-Q8-P10 (Festo)

#### Charakteristické vlastnosti

množství	2 ks
připojení	G 3/8
vnější průměr hadice	8 mm
jmenovitá světlost	6 mm



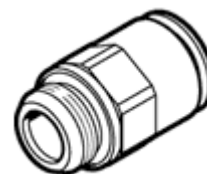
*Obr. 6. 3.8 NPQM-D-G38-Q8-P10*

### ***Šroubení***

Označení: NPQM-D-G14-Q8-P10 (Festo)

#### Charakteristické vlastnosti

množství	2 ks
připojení	G 1/4
vnější průměr hadice	8 mm
jmenovitá světlost	6 mm



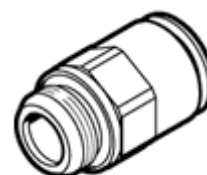
*Obr. 6. 3.9 NPQM-D-G14-Q8-P10*

### ***Šroubení***

Označení: NPQM-D-G18-Q6-P10 (Festo)

#### Charakteristické vlastnosti

množství	7 ks
připojení	G 1/8
vnější průměr hadice	6 mm
jmenovitá světlost	4 mm



*Obr. 6. 3.10 NPQM-D-G18-Q6-P10*

### ***Redukce***

Označení: D-3/8I-1/2A (Festo)

#### Charakteristické vlastnosti

množství	2 ks
připojení vnější závit	G 1/2
připojení vnitřní závit	G 3/8



*Obr. 6. 3.11 D-3/8I-1/2A*

### ***Hadice***

Označení: PUN-8x1,25-SW (Festo)

#### Charakteristické vlastnosti

množství	cca 2 m
vnitřní průměr	d = 5,7 mm
vnější průměr	D = 8 mm
provozní tlak	-0,95 až 10 bar
poloměr ohybu	R = 37 mm



*Obr. 6. 3.12 PUN-8x1,25-SW*

## ***Hadice***

Označení: PUN-6x1-BL (Festo)

### Charakteristické vlastnosti

množství	cca 3 m
vnitřní průměr	d = 4 mm
vnější průměr	D = 6 mm
provozní tlak	-0,95 až 10 bar
poloměr ohybu	R = 16 mm



*Obr. 6. 3.13 PUN-6x1-SW*

## **Závěr**

Cílem této diplomové práce bylo, navrhnout pneumatické zařízení na spojování protahovacích trnů.

Diplomová práce obsahuje popis pneumatického mechanismu na spojování protahovacích trnů. Dalším bodem v diplomové práci je úvaha, jak docílit lisovací síly 50kN využitím pneumatické energie. Jsou zde rozebrány 4 možné varianty lisování a to lisování pomocí pneumatického válce, zvýšení tlaku pomocí multiplikátoru tlaku, pneumohydraulickým válcem a pomocí mechanického převodu (páka). K realizaci zařízení jsem zvolil variantu lisování pneumo-hydraulickým válcem, který využívá přednosti pneumatiky - rychlost (rychlo posuv) a hydrauliky - sílu (lisovací síla 75kN).

Zařízení se skládá ze dvou pneumatických obvodů a to pneumatický obvod na odstranění trnu z drátu a pneumatický obvod na lisování.

Pneumatický obvod na odstranění trnu z drátu je pouze pneumaticky ovládaný a to pomocí signálního šroubení. Tento obvod obsahuje tři pneumomotory, tyto motory jsou totožné. Výhodou je snadnější údržba a servis těchto pneumatických válců.

Pneumatický obvod na lisování je tvořen pneumo-hydraulickým válcem a pneumatickým ovládáním. Mezi ovládáním je použit bezpečnostní prvek určen k aplikaci lisování.

Po návrhu těchto pneumatických obvodů, jsem provedl praktickou zkoušku funkčnosti na trenažérech firmy FESTO a SMC.

Po odzkoušení funkčnosti, jsem provedl výpočet statických a dynamických parametrů. Pro tyto pneumatické obvody je proveden popis funkce, komplexní diagram pohybů a ovládání. Dále má diplomová práce obsahuje specifikaci jednotlivých prvků použitých v obvodech. Následně je proveden výpočet průtokové propustnosti pro oba pneumatické obvody.

K diplomové práci jsou přiložené schémata pneumatických obvodů, a to pneumatického obvodu na odstranění trnu z drátu a pneumatického obvodu lisování. Dále je přiložen dispoziční výkres zařízení na spojování trnů.

## Seznam použité literatury

- [1] KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy Díl1 Pneumatické prvky a systémy* Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1996. 265 s.
- [2] BEATER, P. *Pneumatic drives: system design, modelling and control*. Berlin: Springer, 200. 323 s. ISBN 978-3-540-69470-0.
- [3] KATALOG, *Hydraulické hadice Semperit*, Vydání: 2006 CZ/E,SEMPERIT AG Holding, Viedeň,2006, 16s.
- [4] JOSIEK, R. *Analýza stability odchylky odtahu při výrobě hydraulických hadic*, Brno 2012 VUT Brno, 69s.
- [5] FRANTA,I. a kol. *Gumárenské technologie II.- Zpracování kaučuku a vlastnosti pryže*. Praha: SNTL, 1969.
- [6] KLIMÁNEK, J., SÁHOVÁ, V. *Technologie pro obor gumař*, SNTL Praha, 1983.
- [7] KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy Díl2 Řízení pneumatických systémů* Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2005. 88 s.
- [8] KOPÁČEK, J.; ŽÁČEK, M. *Cvičení z řízení pneumatických systémů*. Ostrava: Skripta VŠB-TU Ostrava, 2004,94 s. ISBN 80-248-0692-4.
- [9] KOPÁČEK, J.; ŽÁČEK, M. *Pneumatická zařízení strojů*. VŠB-TU Ostrava, 2003,93 s.
- [10] LEINVEBER, J.; VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. Praha: ALBRA, 2003. 868 s. ISBN 80-86490-74-2.
- [11] STASTO. *Katalog produktů*. [online] [ vid. 5.4.2014]  
Dostupné z www:<URL <http://www.stasto.cz>>
- [12] TOX-PRESSOTECHNIK. *Katalog produktů*. [online] [ vid.6.3.2014]  
Dostupné z www:<URL <http://www.tox-en.com>>
- [13] SMC. *Katalog produktů*. [online] [ vid.6.4.2014]  
Dostupné z www:<URL <http://www.smc.com>>
- [14] AUTOMA. *Časopis pro automatizační techniku*. Vydavatelství: FCC Public  
Dostupné z www:<URL <http://www.odbornecasopisy.cz>>
- [15] PNEUMATIC TIPS. *Pneumatic-Equipment-Components* [online] [ vid. 21.4.2014]  
Dostupné z www:<URL <http://www.pneumatictips.com>>

## **Seznam příloh**

### **Příloha č. 1:**

SNK2KIH02K - 2014 - 1: Schéma pneumatického obvodu na odstranění trnu z ocelového drátu

### **Příloha č. 2:**

SNK2KIH02K - 2014 - 2: Schéma pneumatického obvodu na lisování

### **Příloha č. 3:**

SNK2KIH02K - 2014 - 3: Dispoziční výkres zařízení pro spojování protahovacích trnů